

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Radim Kurowski

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Problematika válcovaných uzavřených profilů

Problems of Rolled Closed Profiles

Student:

Radim Kurowski

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Radim Kurowski**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Problematika válcovaných uzavřených profilů**
Problems of Rolled Closed Profiles
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Přehled současných technologií výroby uzavřených profilů z plechu.
2. Analýzy současného stavu výroby svařovaných uzavřených profilů.
3. Návrh výroby válcovaných profilů indukčně svařovaných.
4. Technické a ekonomické hodnocení návrhu.

Seznam doporučené odborné literatury:


MACHEK, V. *Tenké ocelové pásy a plechy válcované za studena*. SNTL Praha, 1987.
ROGER, P. *Sheet Metal Forming*. IOP Publishing, 1991.
BOLJANOVIČ, V. *Sheet Metal Forming Processes and Dies Design*. Industrial Press, New York, 2004.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o válcování uzavřených profilů od firmy Kovona System a.s, firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 21. května 2018



Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21.5.2018



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Radim Kurowski

Adresa trvalého bydliště: Milíkov 243, 739 81 Milíkov

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KUROWSKI, R. *Problematika válcovaných uzavřených profilů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2018, 60 s. Vedoucí práce: prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Bakalářská práce se zabývá problematikou válcování uzavřených profilů. V úvodu se zaměřuje na samotné válcování uzavřených profilů a srovnání dostupné technologie výroby. V teoretické části jsou popsány jednotlivé způsoby válcování uzavřených profilů. V praktické části jsou zmíněny jednotlivé problémy, které vznikají v procesu válcování uzavřených profilů indukčním svařováním a pomocí analytické metody jsou vyřešeny.

KLÍČOVÉ SLOVA

Válcování; trubka; profil; svařování; svar; výroba.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KUROWSKI, R. *Problems of Rolled Closed Profiles: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of mechanical technology, 2018, 60 s. Thesis head: prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

The bachelor thesis deals with rolling of closed profiles. In the introduction, it focuses on the rolling of closed profiles themselves and the comparison of the available production technology. The theoretical part describes the individual ways of rolling closed profiles. In the practical part are mentioned the individual problems that arise in the process of rolling of closed profiles by inductive welding and are solved using analytical methods.

KEYWORDS

Rolling; tube; profile; welding; weld; production.

1 Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	12
ÚVOD.....	13
1 ZPŮSOBY VÝROBY UZAVŘENÝCH PROFILŮ A TRUBEK.....	14
1.1 Mannesmanův způsob.....	15
1.2 Stiefelův způsob	16
1.3 Spojité válcování trubek a profilů	17
1.4 Asselův způsob	18
1.5 Diescherův způsob.....	19
1.6 Výroba na tratích s tlačnou válcovací děrovací hlavou.....	20
1.7 Výroba bezešvých trubek protahováním	21
1.8 Výroba trubek tažením	21
1.9 Výroba trubek dopředným vytlačováním	22
2 PROFILY A TRUBKY SPOJENÉ SVAROVÝM ŠVEM	23
2.1 Svařování tlakem	24
2.1.1 Indukční svařování trubek	24
2.1.2 Odporové svařování trubek.....	25
2.1.3 Svařování trubek v plynové peci.....	25
2.2 Tavné svařování.....	27
2.2.1 Svařování trubek pod tavidlem	27
2.2.2 Svařování trubek laserem.....	28
3 ANALÝZA STAVU VÝROBY UZAVŘENÝCH PROFILŮ	29

4	NÁVRH VÝROBY VÁLCOVANÝCH PROFILŮ INDUKČNĚ SVAŘOVANÝCH	30
4.1	Požadavky na válcovaný profil.....	30
4.2	Strojní zařízení.....	31
4.3	Vstupní materiál.....	36
4.4	Analýza jednotlivých vad v procesu výroby	36
4.4.1	FMEA procesu – postup.....	37
4.4.2	FMEA procesu.....	40
4.4.3	Nedodržená jakost vstupního materiálu	45
4.4.4	Studený svar na profilu.....	45
4.4.5	Nedodržení rozměr základny profilu	48
4.4.6	FMEA procesu na přijaté opatření.....	51
4.5	Technologické postupy	51
4.5.1	Zkouška rozšiřováním	56
4.5.2	Zkouška smáčknutím	58
5	ZÁVĚR	59
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	61
	SEZNAM PŘÍLOH	I

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Popis	Jednotka
<i>A</i>	Zajištěno proti chybám.	-
<i>b</i>	Výška profilu.	mm
<i>B</i>	Kontrola kalibrem.	-
<i>c</i>	Konstanta dle jakosti oceli.	-
<i>C</i>	Vizuální kontrola.	-
<i>d</i>	Funkční průměr válcovací rolny.	mm
<i>D</i>	Vnější průměr trubky	mm
<i>D_u</i>	Maximální vnější průměr po zkoušení.	mm
<i>FMEA</i>	Failure Mode and Effect Analysis.	-
<i>h</i>	Šířka profilu.	mm
<i>H</i>	Minimální výška mezi deskami po smáčknutí.	mm
<i>L</i>	Délka zkušebního tělesa před zkoušením.	mm
<i>L₀</i>	Počáteční měřená délka vzorku.	mm
<i>RPN</i>	Rizikové číslo.	-
<i>SAW</i>	Submerged Arc Welding.	-
<i>t</i>	Tloušťka stěny.	mm
φ	Zkosení hrany pásu.	°

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 – Princip válcování na poutnické stolici ²	15
Obrázek 1.2 - Ukázka válcování na poutnické stolici ³	16
Obrázek 1.3 - Princip válcování, Stiefelův způsob ¹	17
Obrázek 1.4 - Spojitá válcovací stolice ⁴	18
Obrázek 1.5 - Spojitá válcovací stolice ⁴	19
Obrázek 1.6 - Diescherův způsob válcování trubek ¹	20
Obrázek 1.7 - Výroba trubek na tlačné válcovací stolici ¹	20
Obrázek 1.8 - Lisování na vertikálním děrovacím lisu ⁴	21
Obrázek 1.9 - Průvlečné tažení trubek ⁵	22
Obrázek 1.10 - Dopředné vytlačování trubek ¹⁵	22
Obrázek 2.1 - Principy metod výroby trubek svařováním ⁷	23
Obrázek 2.2 - Princip indukčního svařování.....	24
Obrázek 2.3 - Odporové svařování trubek ¹¹	25
Obrázek 2.4 - Zkosení pásové oceli ⁹	26
Obrázek 2.5 - Spojité svařování natupo ⁹	26
Obrázek 2.6 - Svařování pod tavidlem ¹²	27
Obrázek 2.7 - Princip svařování pod tavidlem (SAW) ¹²	28
Obrázek 2.8 - Princip laserového svařování ¹³	28
Obrázek 3.1 - Obrázek grafu statistické výroby uzavřených profilů ¹⁶	29
Obrázek 4.1 - Odvíjecí zařízení a souprava nožů	31
Obrázek 4.2 - Odvíjecí zařízení a ovládací panel	32
Obrázek 4.3 - Navíjecí a odvíjecí zařízení	32
Obrázek 4.4 - Válcovací část linky	33
Obrázek 4.5 - Svařovací agregát a ořezávací nůž na výronek	33
Obrázek 4.6 - Chladicí lázeň s ovládacím panelem válcovací linky	34
Obrázek 4.7 - Kalibrační část.....	34
Obrázek 4.8 - Stříhadlo	35
Obrázek 4.9 - Vyhazovací stůl s ukládacím prostorem	35
Obrázek 4.10 – Fotografie zobrazeného grafu svařovacích teplot a aktuální teplota.....	46
Obrázek 4.11 - Ustavení pyrometru.....	47
Obrázek 4.12 - Nastavení parametrů svařování	48
Obrázek 4.13 - Laserové snímače	49
Obrázek 4.14 - Displej pro odečet hodnoty pro kalibraci	49

Obrázek 4.15 – Fotografie grafu naměřených hodnot a tabulky aktuálních hodnot	50
Obrázek 4.16 - Displej pro zadání konstanty	50
Obrázek 4.17 - Signál, profil mimo tolerance	50
Obrázek 4.18 - Popis vzorku pro zkoušku rozšiřováním ²¹	56
Obrázek 4.19 - Trubka před zkouškou OK.....	57
Obrázek 4.20 - Trubka po zkoušce OK	57
Obrázek 4.21 - Popis vzorku pro zkoušku smáčknutím ²⁰	58

SEZNAM TABULEK

Tabulka 4.1 - Chemické složení (rozbor tavby) ¹⁸	30
Tabulka 4.2 - Mechanické vlastnosti při pokojové teplotě pro dodací stav +CR2 ¹⁸	30
Tabulka 4.3 Chemické složení (rozbor tavby) ¹⁹	36
Tabulka 4.4 Mechanické vlastnosti při pokojové teplotě ¹⁹	36
Tabulka 4.5 - Význam následku	38
Tabulka 4.6 - Výskyt následku	39
Tabulka 4.7 - Odhalitelnost následku	40
Tabulka 4.8 - Možné vady v procesu výroby	41
Tabulka 4.9 - Neshoda 4 z tabulky 8 - nedodržená jakost vstupního materiálu	51
Tabulka 4.10 - Neshoda 22 z tabulky 8 - studený svar na profilu	51
Tabulka 4.11 - Neshoda 27 z tabulky 8 - nedodržený rozměr základny	51
Tabulka 4.12 - Technologický postup dělení svitku	52
Tabulka 4.13 - Technologický postup válcování profilu	54

ÚVOD

Téma problematika uzavřených profilů jsem si vybral proto, že pracuji a zajímám se o válcování uzavřených profilů, zejména válcovaných za studena. Válcování je nejrozšířenějším způsobem výroby uzavřených nebo otevřených profilů. Válcované profily se využívají v mnoha oblastech, jako jsou stavební výrobky, nábytkářství, automobilový průmysl a v mnoha dalších odvětvích. Hlavně v automobilovém a stavebním průmyslu je kladen velký důraz na přesnost a bezpečnost výrobku, z tohoto důvodu jsou nároky na kvalitu a zabezpečení výroby čím dál tím větší.

Válcování uzavřených profilů za studena je značně složitější než válcování otevřených profilů, a to z důvodu samotného spojení okrajů profilu v celek. Spojení okrajů profilu se provádí svařováním, z čehož nejrozšířenějším svařovacím procesem je indukční svařování.

Válcování uzavřených profilů za studena je jednodušší a levnější než za tepla ale, kvalitou, hlavně kvůli samotnému svaru nemohou konkurovat.

U válcování uzavřených profilů za studena vzniká mnoho různých vad, které ovlivňují jakožto kvalitu tak i bezpečnost výrobku jako takovou. Z výše uvedených důvodů se do samotné výroby přidávají různé kontrolní prvky, které zabezpečují kvalitu a bezpečnost profilů. Na úvod v hlavní části bakalářské práce bude představena výroba bezešvých a svařovaných trubek a profilů. V další části bakalářské práce budou veškeré problémy, které nám válcování uzavřených profilů přináší, rozebrány, bude popsán průběh a stanovené opatření k zamezení těchto vad.

1 Způsoby výroby uzavřených profilů a trubek

- Základní rozdělení:**
- Bezešvé profily a trubky
 - Profily a trubky spojené svarovým švem

Rozměry trubek a profilů jsou dány jejich průměrem a tloušťkou stěny. Podle použité výrobní technologie rozdělujeme trubky z hlediska válcování na válcované zatepla a zastudena, redukované zatepla a zastudena a podle provedení na hladké, závitové, s tvarovými konci atd.

Jejich výrobu můžeme rozdělit zhruba do dvou základních operací:

- výroba dutých polotovarů s velkou tloušťkou stěny pomocí kosého nebo příčného válcování na dvou nebo tříválcích – děrování a válcování polotovarů,
- zpracování těchto polotovarů na trubky a profily poutnickým nebo klasickým způsobem válcování děrovaného polotovaru (redukce průměru, prodloužení), kalibrace rozměrů.

Bezešvé profily a trubky

Rozeznáváme několik technologických způsobů výroby bezešvých profilů a trubek:

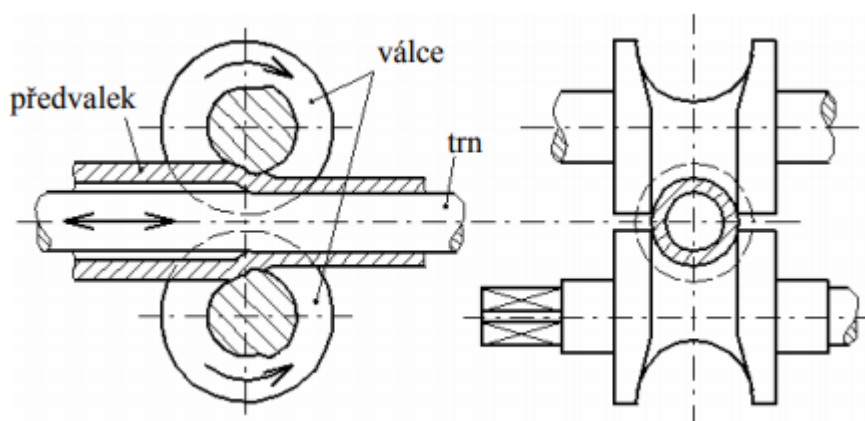
- Mannesmanův.
- Stiefelův.
- Spojité válcování trubek a profilů.
- Asselův.
- Diescherův.
- Výroba na tratích s tlačnou válcovací děrovací hlavou.
- Výroba bezešvých trubek protahováním.
- Výroba trubek tažením.
- Výroba trubek dopředným vytlačováním.

1.1 Mannesmanův způsob

Jinak taky válcování na tratích s poutnickými stolicemi. Válcování je prováděno na předem vyrobeném tlustostěnném předvalku na tzv. poutnické stoličce.

Materiálem jsou zde buď ingoty, které jsou hlavně na trubky velkých průměrů, nebo sochory na trubky menších průměrů. ^{1, 4}

Na obrázku 1.1 je vidět dutý předvalek nasazený na trn, jehož průměr je totožný s vnitřním průměrem trubky. Předvalek se dostane do záběru, když poutnické válce jsou k sobě natočeny vybráním, tzv. prázdným kalibrem. Dalším otáčením válců zabere záběrová část kalibru a ten vykoná spolu s trnem zpětný posuvný pohyb. Válce se odvalují po poutnickém trnu a materiál se válcuje na danou tloušťku odpovídající profilu kalibru. Poutnické stoličky viz obrázek 1.2 vyválcují trubku na konečný rozměr. Moderní tratě jsou však vybaveny za proutnickou stoličkou kalibrovacím strojem, kde se vyrobená trubka zkalibruje po odříznutí deformovaných konců (nedoválcované poutnické hlavy) na přesný vnější průměr. Výhodou je válcování dlouhých trubek, které jiné způsoby válcování nejsou schopné vyrobit (až 36 m a více). Největší přednost výroby proutnickými stolicemi je, že se můžou trubky válcovat přímo z ingotů a poměrně rychle jde změnit program válcování. ^{1, 4}



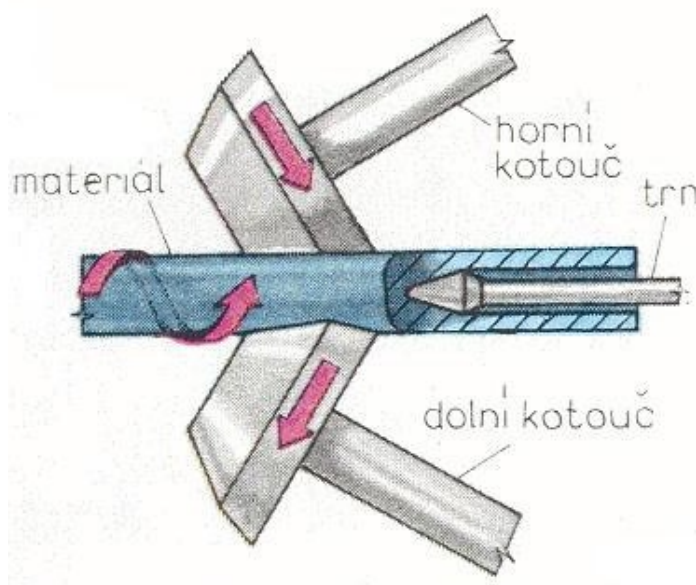
Obrázek 1.1 – Princip válcování na poutnické stoličce ²



Obrázek 1.2 - Ukázka válcování na poutnické stolici ³

1.2 Stiefelův způsob

Jedná se o nejrozšířenější způsob výroby trubek. Vstupní materiál je zde kruhový sochor. U této metody je nejmenší tloušťka stěny předvalků 6 až 7 mm. Válcují se trubky do 15 m. Na tratích s automatikou se i děruje dvakrát, trať má pak 2 děrovací stroje. Automatika je na principu podélného válcování. Je proveden jako dvouválcová stolice s kruhovými kalibry. Válcuje se na trnu základního kuželovitého tvaru viz obrázek 1.3, dvěma až třemi průchody trubky. Po každém následném průchodu je trubka pootočená podél své osy o 90° a nasadí se schlazený trn. Zpětný pohyb trubky se uskuteční po rozevření válců pomocí vratných kotoučů nebo válců. Na automatiku se válcuje daná tloušťka stěny. Následně se trubka nasadí na hladicí stroj, kde se vyhlazuje vnitřní i vnější povrch zároveň. Dále se trubka prožene závěrečnou operací v kalibračním stroji, kde se redukuje její vnější a tím i vnitřní průměr na přesný. Velká část deformace se uskutečňuje v děrovacím stroji, což má za následek dobré plastické vlastnosti materiálu. Stiefelův způsob je výkonnější než Mannesmanův, trubky mají hladší povrch, ale kvůli složitosti válcovací tratě se hodí zejména pro hromadnou sériovou výrobu. ⁴



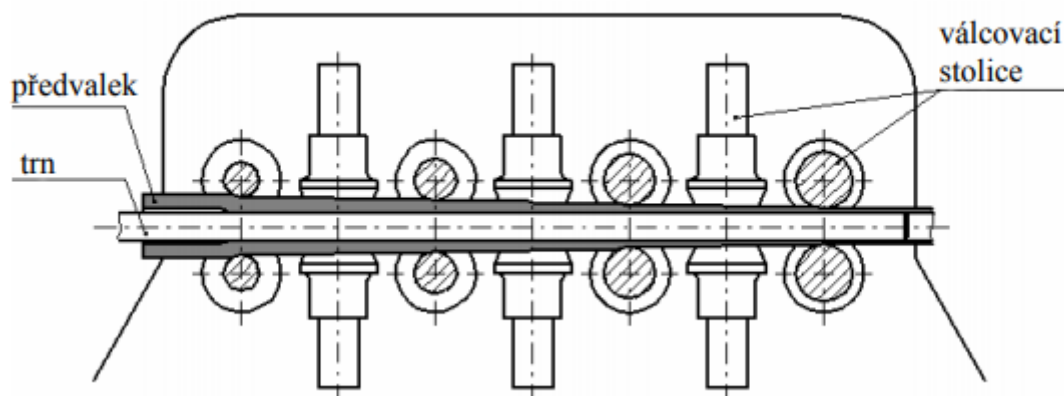
Obrázek 1.3 - Princip válcování, Stiefelův způsob ¹

1.3 Spojité válcování trubek a profilů

Výroba profilů pro tento způsob válcování je podobná jako u tratí s poutnickými stolicemi. Válcuje se na spojitých tratích na dlouhém válcovitém trnu, na který je navlečen dutý předvalek, který pak prochází i s trnem řadou dvouválcových stolic s kruhovými kalibry, uspořádaných těsně za sebou viz obrázek 1.4.

Válcovací tratě se skupinovým pohonem mají 7 až 11 stojanů, což je 7 až 11 párů válců. Trny jsou dlouhé 6,5–8 m. Na jedno válcování přes všechny páry válců se vyválcuje trubka požadovaného průměru a tloušťky. Následně jde trubka na kalibrační stroj nebo na redukční stolicí. Spojité válcovací tratě se vyznačují velkými výkony. Takt válcování je 10–15 sekund.

Válcují se trubky s průměrem 38–168 mm, tloušťky 2 až 3,5 mm a do délky až 20 m. Trubky mají hladký povrch bez povrchových vad. Spojité válcování je velmi výkonné, takt válcování je 10 až 15 vteřin. Výhodou je použití sochoru téhož průměru, jako je výchozí trubka. Válcovací tratě jsou však složité, nástroje jsou drahé a přestavby jsou obtížná a zdoluhavá. Linka se skládá z ohřevu, děrovacího dvouválce s poutnickou stolicí nebo tříválce s vlastní více stojanovou válcovací stolicí, se stolice pro vytahování trnů a z chlazení. ^{1, 4}

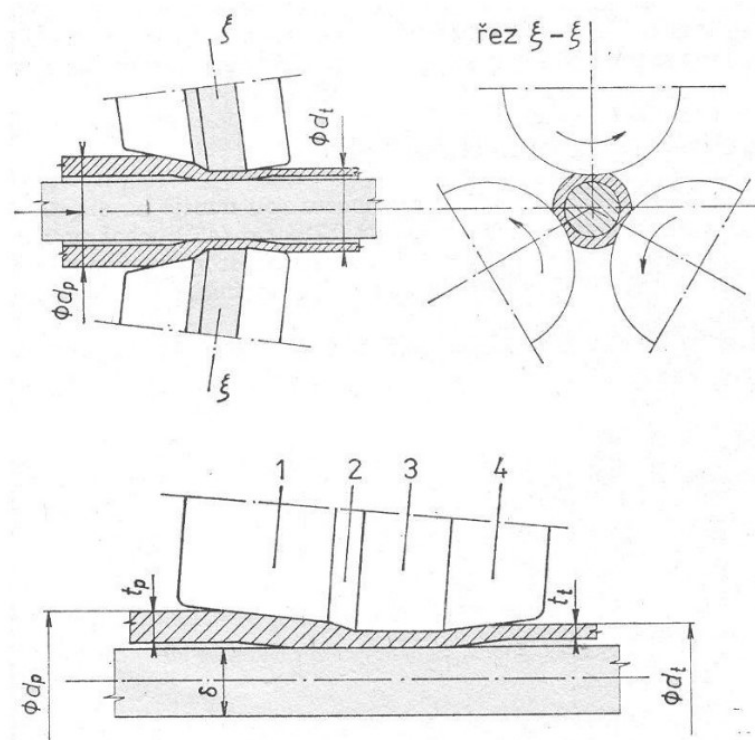
Obrázek 1.4 - Spojitá válcovací stolice ⁴

1.4 Asselův způsob

Neboli válcování na tratích s tříválnocovou stolicí. Válcuje se na tři válcovací stolice, kde kuželové válce jsou vzájemně mimoběžné a šikmo umístěné pod úhlem $10 \div 15^\circ$. Úhel sklonu válců ovlivní stupeň příčné deformace. Každý kužel (obrázek 1.5) plní svou vlastní funkci. Kužel 1 je zaváděcí (záběrový). Kužel 2 válcuje a provádí podstatnou část deformace. Kužel 3 rozválcuje předvalek a kalibrační kužel vyhladí povrch a zkalibruje vnější průměr. Kužel 4 je výstupní. Za tříválnocovou stolicí většinou je umístěn ještě i kalibrovací stroj. Na tratích se vyrábí trubky průměru od 40 do 200 mm, kde min. tloušťka stěny, je 2,5 mm, ale dají se i válcovat trubky tloušťky 50 mm. ^{1,4}

Rychlost válcování je dle tloušťky stěny a to 10 až 30 m za minutu. Velkou předností tohoto způsobu válcování je podstatně rychlejší přestavba na jiný rozměr trubky. Způsob válcování je vhodný pro rozmanitý výrobní plán. ^{1,4}

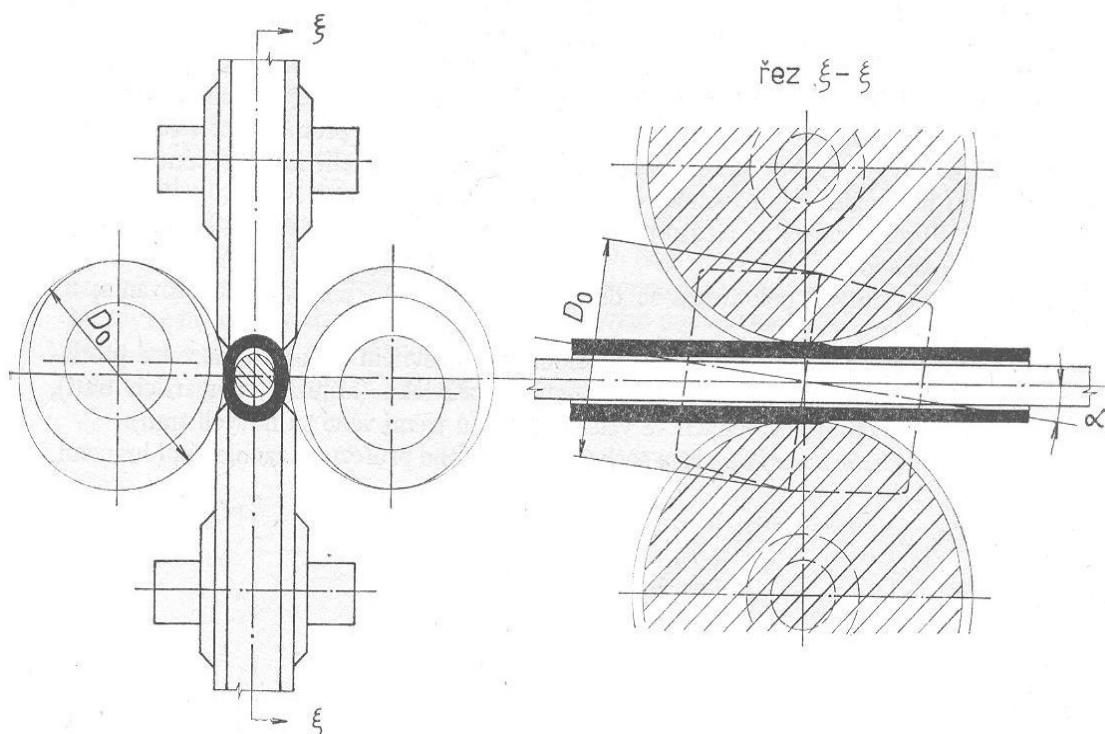
Trubky válcovány tímto způsobem jsou soustředné, přesně kruhové, méně oválné než u jiných způsobu válcování. Hodí se k mechanickému opracování. Vyznačují se velkou výkonností. Velkou výhodou jsou značně rychlé přestavby na jiný rozměr, tím pádem jsou vhodné pro malosériovou a značně členitou výrobu. ^{1,4}

Obrázek 1.5 - Spojitá válcovací stolice ⁴

1.5 Diescherův způsob

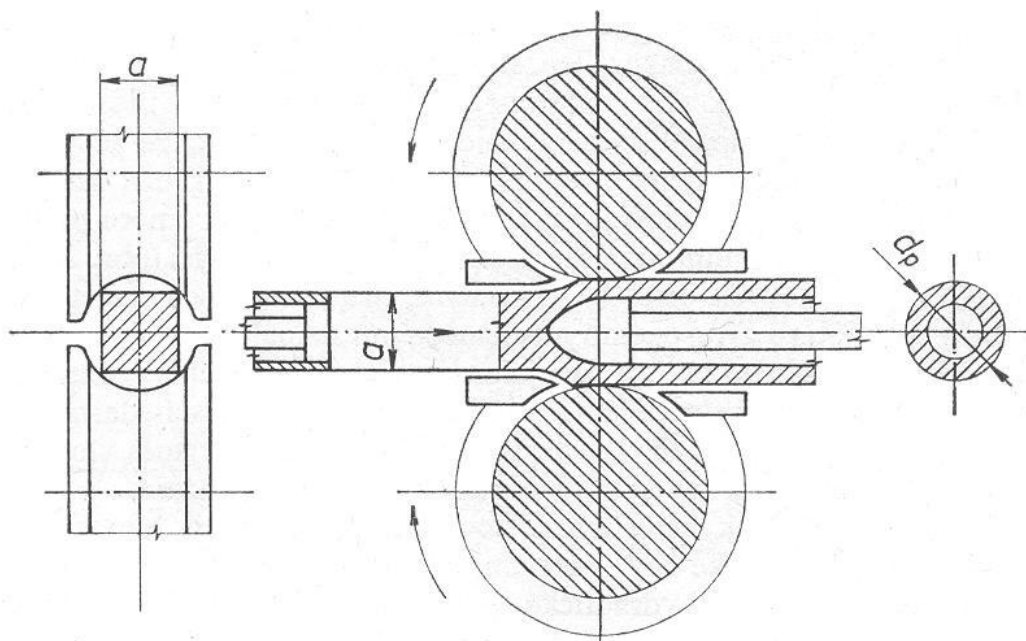
Jinak taky válcování na stolicích s příčnými otočnými kotouči. Vstupní polotovár je dutý předvalek. Diescherův válcovací způsob se používá pro výrobu trubek menších průměrů 50 až 150 mm s tloušťkou stěn 2,5 až 3 mm. Válcovací stolice má dva pracovní mimoběžné válce viz obrázek 1.6, které mají vzájemně skloněné osy a tím pracují na principu kosého válcování. Mezi tyto válce jsou svisle vloženy dva kotouče, které se otáčejí napříč a tím pomáhají tváření.

Výkon válcování je menší než u tratí s automatikou. Touto technologií se válcují trubky menších průměrů a délka je omezena délkou trnu a nepřevyší tak 15 m. Nevýhodou tohoto zařízení je vysoká cena a značné opotřebení nástrojů. Proto je tento způsob výroby málo rozšířen. ^{1, 4}

Obrázek 1.6 - Diescherův způsob válcování trubek ¹

1.6 Výroba na tratích s tlačnou válcovací děrovací hlavou

Výroba trubek děrováním na tlačné válcovací stolici je nový způsob výroby trubek viz obrázku 1.7 (označovaný jako PPM), kdy však musí následovat buď poutnická stolice nebo Stiefelův způsob kalibrace. Výhodou je možnost děrovat čtvercové polotovary. ¹

Obrázek 1.7 - Výroba trubek na tlačné válcovací stolici ¹

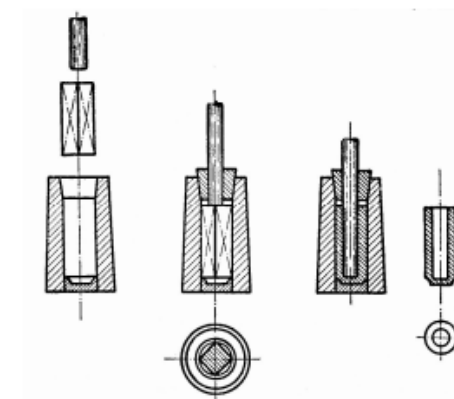
1.7 Výroba bezešvých trubek protahováním

Způsob je mezi jinými odlišný i v tom, že se trubky nebo profily nevyrábí z ingotů nebo sochorů kruhového průřezu ale pro vstupní materiál se volí sochor čtvercového průřezu.

Výrobní postup má dvě fáze:

- a) Lisování dutých polotovarů s příčným průřezem tvaru mezikruží.
- b) Protahování tenkostěnné trubky na vodorovné protahovací stolici.

Výroba dutých výlisků se provádí na svislém děrovacím lisu, postup je znázorněn na obrázku 1.8. ⁴

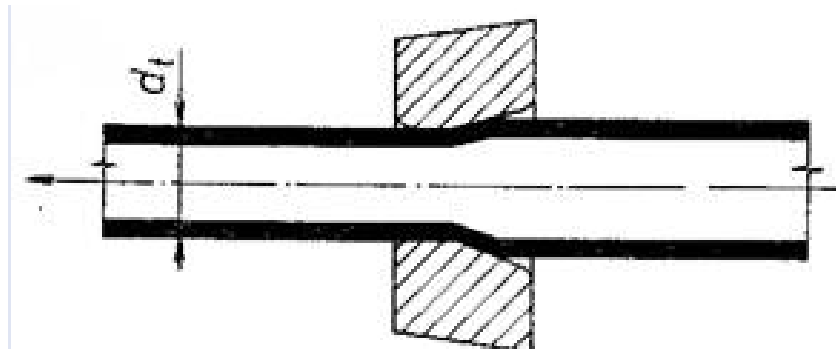


Obrázek 1.8 - Lisování na vertikálním děrovacím lisu ⁴

1.8 Výroba trubek tažením

Tažení trubek a bezešvých profilů viz obrázek 1.9 je prováděno nejčastěji za studena a používá se pro trubky menších rozměrů od 0,1 do 250 mm, které mají zvýšené požadavky na rozměrovou přesnost a jakost povrchu. Trubky se vyznačují jako trubky přesné. Vstupním polotovarem jsou trubky vyrobené válcováním do délky 4,5 m, trubky mají upravený konec pro prostrčení průvlaku a musí mít hladký vnější i vnitřní povrch bez povrchových vad. Jednotlivé metody výroby se rozlišují podle vnitřního průměru trubky. ⁵

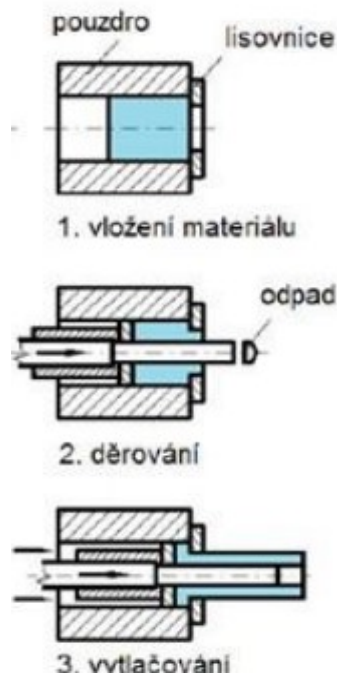
Technologie tažení je podstatně nákladnější než válcování, a proto počet tahů má být minimální. Získání kovově lesklého povrchu vyžaduje minimální celkový plošný úběr 50 %, obvyklé úběry jsou kolem 80–90 %, což však nelze udělat na jediný tah. Před tažením musí být dokonalá příprava povrchu, tj. odstranění okují a nanesení vrstvy, která slouží jako nosič maziva. ⁵

Obrázek 1.9 - Průvlečné tažení trubek ⁵

1.9 Výroba trubek dopředným vytlačováním

Výroba probíhá na hydraulických nebo mechanických lisech. Vstupní materiál je kruhový sochor, ohřátý na potřebnou teplotu. Ohřátý sochor se následně vloží do zásobníku, kde na dně je matrice s otvorem o vnějším průměru lisované trubky.

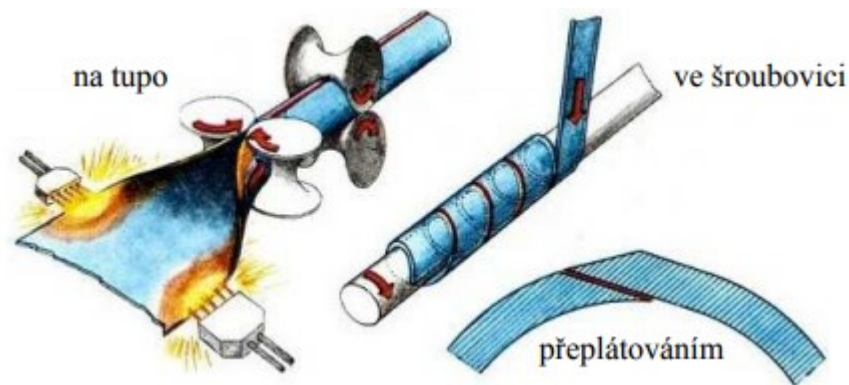
V první fázi se materiál válcovitým trnem, který má vnitřní průměr trubky děruje a následně se vytlačuje velkým tlakem ven viz obrázek 1.10. Nevýhodou je velké opotřebení nástroje a nutnost vydatně mazat. Je však vhodný pro příznivý stav napjatosti tvářeného materiálu. Vytlačování se používá pro trubky malých průměrů a pro neokružové profily. ⁴

Obrázek 1.10 - Dopředné vytlačování trubek ¹⁵

2 Profily a trubky spojené svarovým švem

Kvůli poměrně vysoké ceně bezešvých trubek se pro konstrukční účely vyrábějí levnější, a to trubky svařované. Svařované trubky jsou vyráběny buď za tepla, nebo za studena ze svinutého ocelového pásu. Pás se postupně na válcovacích stolicích zakruží do tvaru trubky a následně se podélně natupo svaří, viz obrázek 2.1. Svar je oboustranný a musí mít stejnou ne-li větší pevnost než materiál základní.^{8,9}

Dále se trubky svařují přeplátováním nebo ve šroubovici viz obr. 11.^{8,9}



Obrázek 2.1 - Principy metod výroby trubek svařováním⁷

Dle výrobní technologie lze výrobu svařovaných trubek a profilů rozdělit na tyto způsoby:

Svařování tlakem:

- Indukční svařování trubek.
- Odporové svařování trubek.
- Svařování trubek v plynové peci.

Tavné svařování:

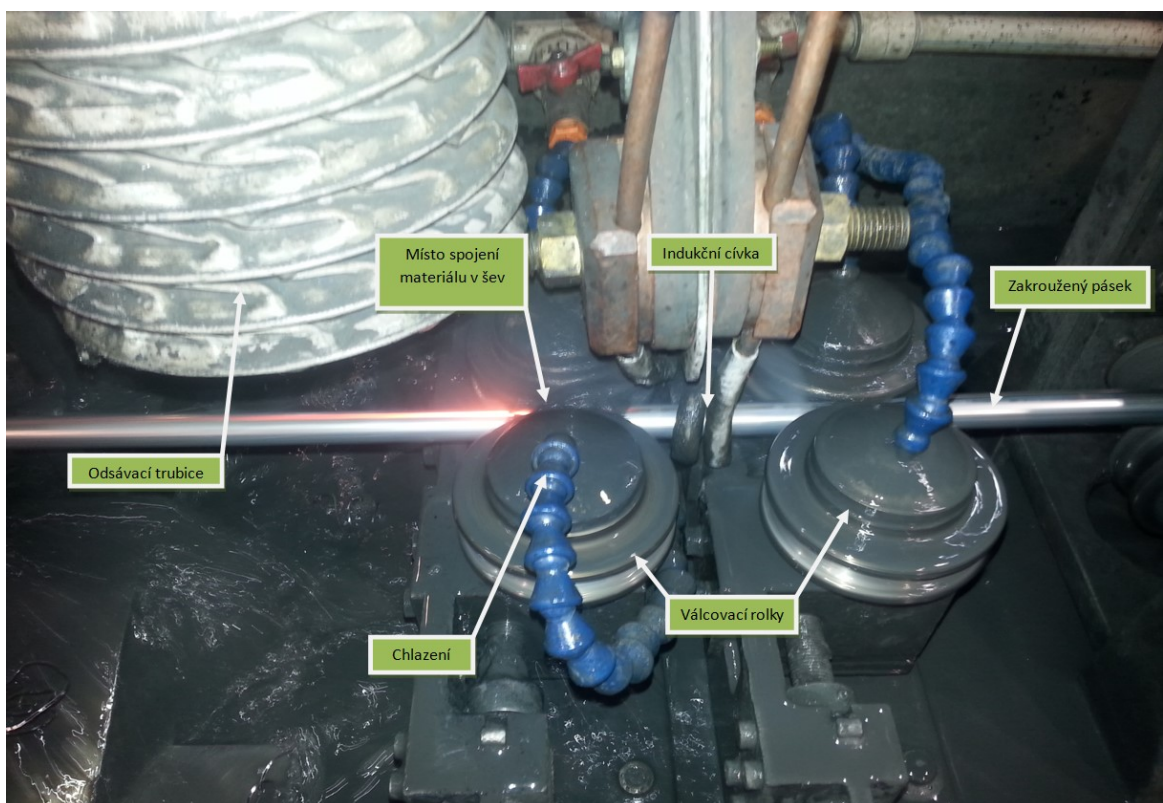
- Svařování trubek pod tavidlem.
- Svařování trubek laserem.

2.1 Svařování tlakem

V této kapitole jsou řešeny metody svařování tlakem.

2.1.1 Indukční svařování trubek

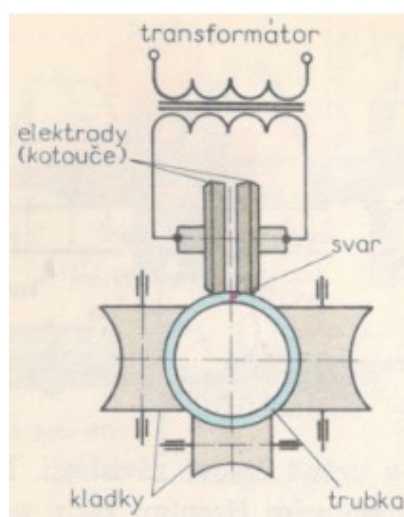
U indukčního svařování trubek se pás svitku zakrouží na požadovaný tvar trubky a ten se následně bez přímého styku elektrického vodiče se stěnou trubky indukčně svaří a vznikne svarový šev viz obrázek 2.2. Měděný induktor je chlazený vodou a napájený proudem o střední frekvenci (4000–10 000 Hz), to umožňuje ohřev okraje pásu, kde bude proveden svar. V další fázi je ohřátá část trubky postupně stlačována a chlazená. Vyrábí se tímto způsobem trubky pro vodovodní a plynovodní účely, pro stavebnictví a automobilový průmysl. Průměr trubky se pohybuje mezi 20–170 mm a z pásu o tloušťce 1–7 mm. Rychlost svařování dosahuje až 60 m/min.^{9, 10}



Obrázek 2.2 - Princip indukčního svařování

2.1.2 Odporové svařování trubek

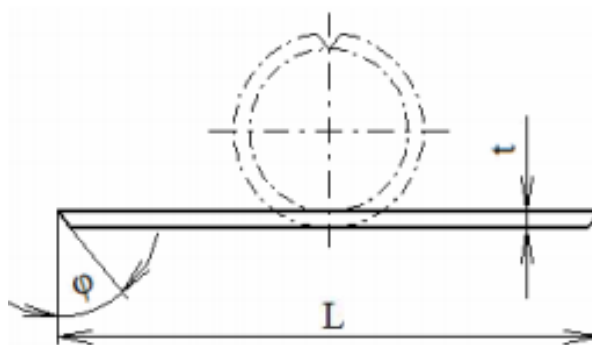
Jinak taky metoda průběžného svařování plechů. Elektrody ve tvaru kotoučů, viz obrázek 2.3, jsou chlazeny vodou a svařují nepřerušovaným střídavým proudem, přičemž za 1 s vznikne 100 proudových impulzů, tj. 100 miniaturních svarů, které se dále spojí za působení tlaku. Hrany pásu se před vstupem do zakružovacích válečků seříznou, aby se docílilo rovnoměrné šířky. V zakružovacích válečkách se pás postupně formuje do tvaru šterbinové trubky. Svar trubky je čistý, homogenní a spojení hran je dokonalé. Vyrábí se trubky o větších průměrech a to 168 až 660 mm, tloušťky 6 až 15 mm a délka trubek činí 8 až 12 m. Je to výkonný a hospodárný způsob výroby, ale výrobní zařízení je velmi nákladné.^{9, 11}



Obrázek 2.3 - Odporové svařování trubek¹¹

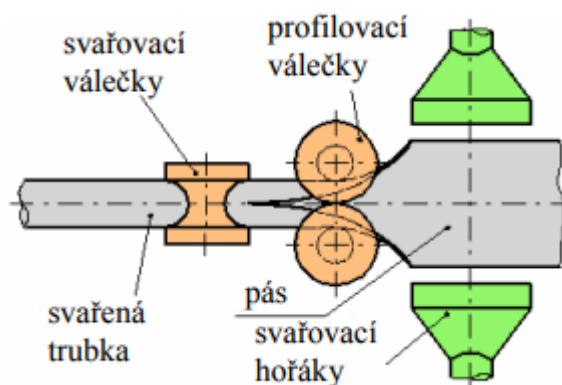
2.1.3 Svařování trubek v plynové peci

Svařuje se třemi způsoby, a to překlátování a natupo, což jsou zastaralé metody a nahradila je metoda spojitého svařování natupo. Spojité svařování natupo, jenž je moderní a výkonný způsob výroby trubek svařovaných z pásové oceli válcované za tepla s obsahem uhlíku 0,13 %. Pásky jsou zkoseny pod úhlem $\varphi = 7 \div 17^\circ$, viz obrázek 2.4. Tímto způsobem se vyrábí trubky malých a středních průměrů o tloušťce stěny $t = 2 \div 14$ mm. Jakost svaru je velmi dobrá.⁹

Obrázek 2.4 - Zkosení pásové oceli ⁹

Ohřev pásů se uskutečňuje v plynových pecích vyhřívaných koksovým nebo zemním plynem. Největší důraz se klade na zahřívání okraje pásů, kde střed zůstává chladnější. Střed pásu má teplotu kolem 1280 °C, kdežto okraje mají o 50 až 80 °C více. Po výstupu pásu z pece je pás dále veden na zakružovací a svařovací válečky (obrázek 2.5). Mezi nimi je ventilátor vzduchu, který fouká vzduch na hrany pásu, což je zahřeje až na 1520 °C. První válečky zakružují a druhé natupo svařují.

Tento způsob výroby je velmi výkonný a dokáže vyrobít až 325 t za 8 hodin, ale přestavby na jiný rozměr jsou velmi zdlouhavé a nákladné. ⁹

Obrázek 2.5 - Spojité svařování natupo ⁹

2.2 Tavné svařování

Tato kapitola je soustředěna na jednotlivé metody tavného svařování.

2.2.1 Svařování trubek pod tavidlem

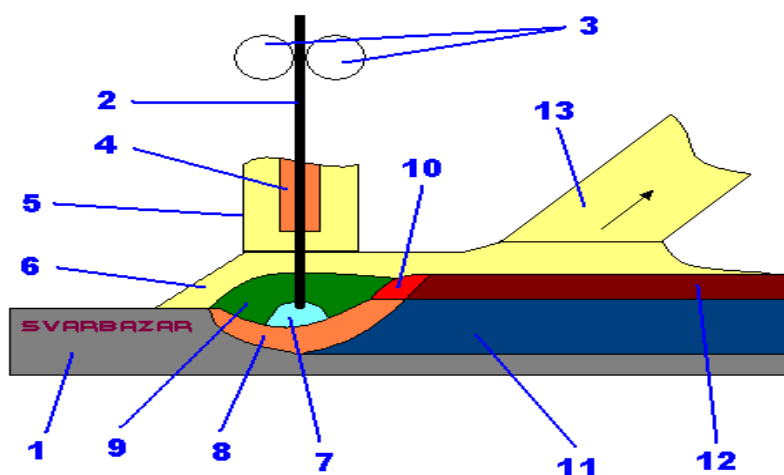
Jinak taky jako svařování SAW (Submerged Arc Welding), je svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou. Elektrický oblouk je mezi základním svařovaným materiálem a odtavující se elektrodou. Elektroda je drát navinutý na cívce a následně elektromotorem je posouvána do hořícího oblouku.¹²

Jako ochrana svarové lázně před oxidací, tedy před přístupem vzduchu se používá práškové tavidlo. Svarová lázeň je během svařování zasypávána vrstvou tavidla viz obr.16 a pod touto vrstvou je elektrický oblouk, díky kterému se minimalizují škodlivé dýmy a záření.¹²

Princip svařování je zobrazen na obrázku 2.6.¹²



Obrázek 2.6 - Svařování pod tavidlem¹²

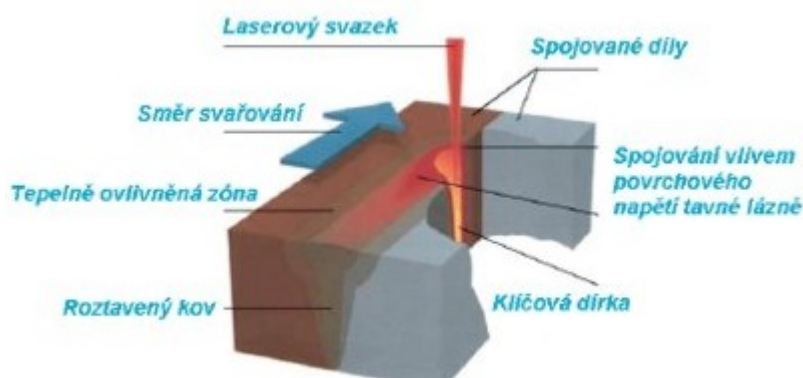


Obrázek 2.7 - Princip svařování pod tavidlem (SAW) ¹²

1 - základní (svařovaný) materiál; 2 - drátová elektroda (svařovací drát); 3 - podávací kladky poháněné motorem; 4 - napájecí kontaktní průvlak; 5 - hubice přivádějící práškové tavidlo k místu svařování; 6 - práškové tavidlo; 7 - elektrický oblouk; 8 - tavná svarová lázeň; 9 - dutina naplněná plynem, který se uvolnil z tavidla; 10 - roztavená struska; 11 - ztuhlý svarový kov (svarová housenka); 12 - ztuhlá struska; 13 - odsávání přebytečného tavidla. ¹²

2.2.2 Svařování trubek laserem

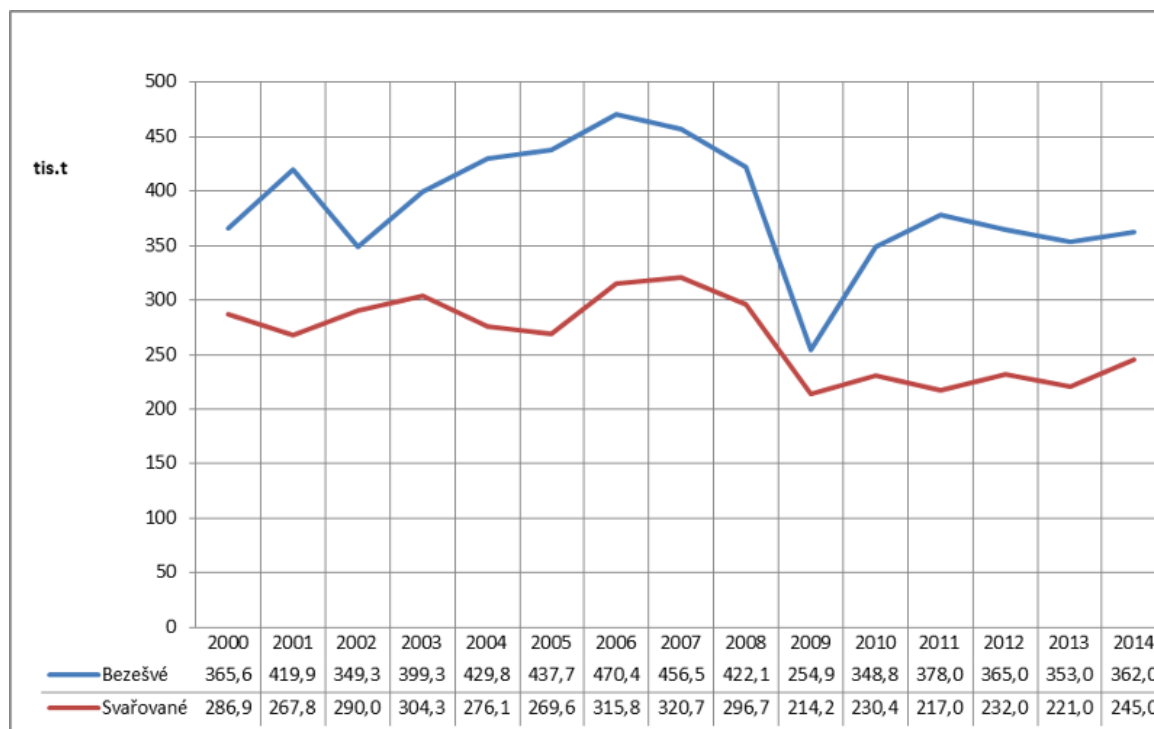
V roce 1979 představila společnost Trumpf první laserový stroj. Laserové svařování se vyznačuje zvýšenou produktivitou výroby a snižováním výrobních nákladů. Svařování pomocí laseru je efektivní i při výrobě malého množství výrobků například u malosériových zakázek, prototypů a vzorků. Díly laserově svařované mají minimální deformace spojovaných dílů a velmi úzkou tepelně ovlivněnou oblast. Princip svařování nalezneme na obrázku 2.8. ^{13, 14}



Obrázek 2.8 - Princip laserového svařování ¹³

3 Analýza stavu výroby uzavřených profilů

Výroba bezešvých trubek a profilů je rozšířenější než výroba svařovaných profilů, a to v průměru o 121 700 t za rok, viz obrázek 3.1. Může za to především fakt, že výroba bezešvých trubek je sice náročnější a dražší, ale kvalitou jim svařované trubky nemůžou konkurovat.¹⁶



Obrázek 3.1 - Obrázek grafu statistické výroby uzavřených profilů¹⁶

4 Návrh výroby válcovaných profilů indukčně svařovaných

S výrobou válcovaných profilů indukčně svařovaných se pojí řada problémů, a to jak materiálová která má různé chemické a tím i mechanické vlastnosti napříč mateřského svitku, ostré hrany pásky, nerovnoměrná šířka pásky, tak i výrobní, a to vnitřní pnutí materiálu, svařitelnost, studený svar, přeložený svar a další. V této praktické části jsou jednotlivé problémy rozebrány a navrženy účinné opatření, aby se tyto problémy eliminovaly.

4.1 Požadavky na válcovaný profil

Jako výrobek byl vybrán čtvercový profil dle ČSN EN 10305-5 délky 6120 mm, o rozměrech $h=25,5$ mm x $b=20$ mm s tloušťkou stěny 1 mm, vyrobený z oceli značky E420 v normalizovaném stavu z pásu s povrchem S2+CR2, mořený. Profily nejsou určeny k tepelnému zpracování po svařování a kalibrování. Dodání profilu bude s inspekčním certifikátem 3.1 podle EN 10204. Zákazník chce mít profily značené datumovým znakem na jedné straně profilu. Tolerance profilu se řídí dle výkresu viz příloha A.¹⁸

Tabulka 4.1 - Chemické složení (rozbor tavby) ¹⁸

Označení oceli		Chemické složení, hmotnostní %					
Značka oceli	Číselné označení oceli	C max. [%]	Si max. [%]	Mn max. [%]	P max. [%]	S max. [%]	Al celkový min. ^a [%]
E420	1.0575	0,16	0,55	1,70	0,025	0,025	0,020

a – Tento požadavek neplatí za předpokladu, že ocel obsahuje dostatek jiných prvků, které vážou dusík jak Ti, Nb nebo V. Přísada Nb, Ti a V je dovolená a je na úvaze výrobce. Obsah těchto prvků musí být oznámen. Při použití titanu musí výrobce doložit, že $(Al+Ti/2) \geq 0,020$.

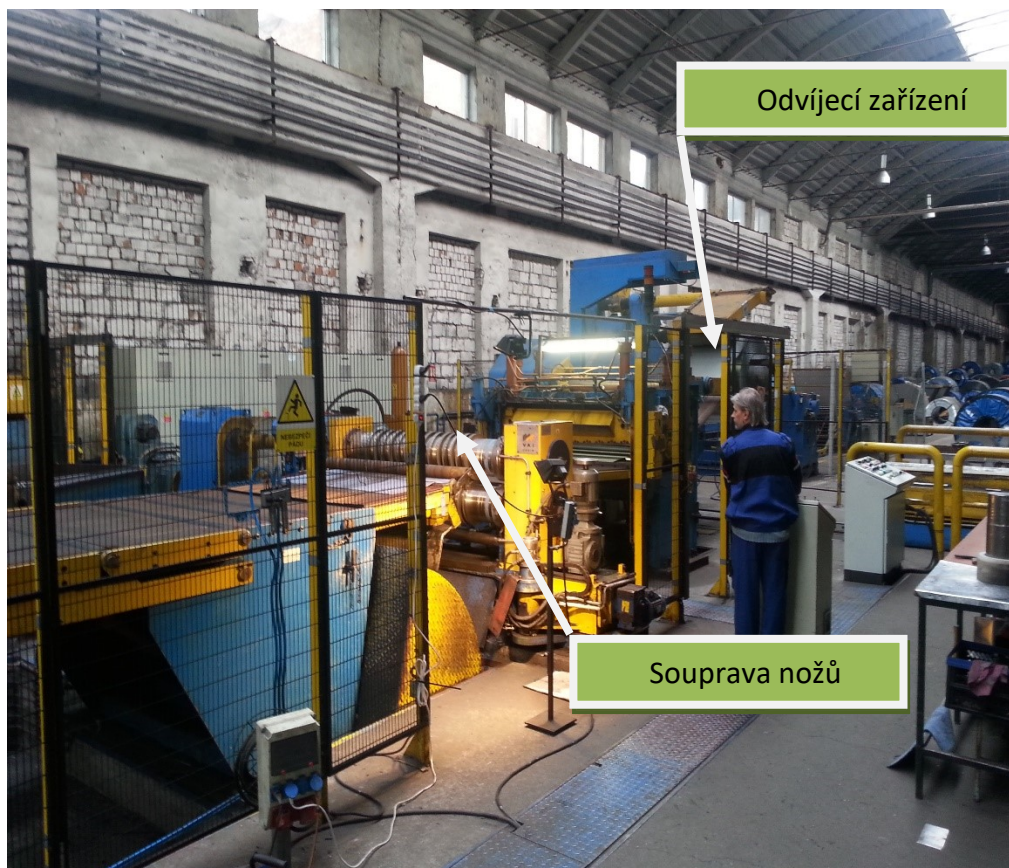
Tabulka 4.2 - Mechanické vlastnosti při pokojové teplotě pro dodací stav +CR2¹⁸

Označení oceli		Minimální hodnoty pro dodací stav +CR2		
Značka oceli	Číselné označení oceli	R _m [MPa]	R _{eH} [MPa]	A [%]
E420	1.0575	480	420	12

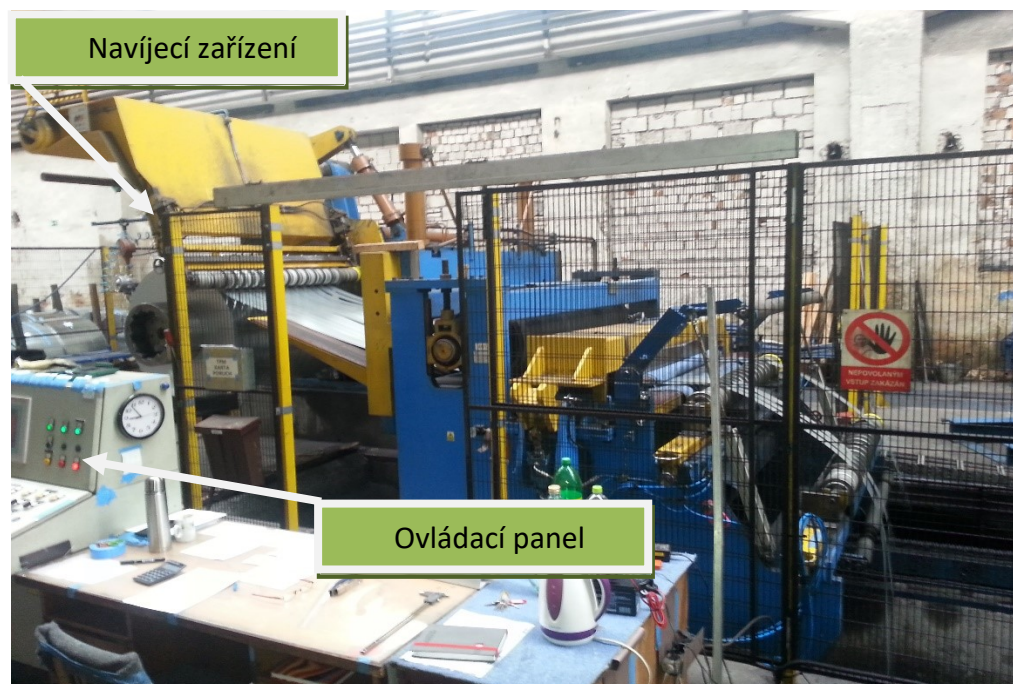
Zákazník zvolil kontrolu a zkoušení nespécifikovaným postupem, to znamená, že kontrola chemického složení, zkouška tahem, kontrola rozměrů a vizuální kontrola (jež je povinná) se budou provádět dle výrobního postupu.¹⁸

4.2 Strojní zařízení

Výroba profilů začíná na dělicí lince mateřských svitků značky VAI COSIM, linka je vybavena odvíjecím zařízením, dělicí soupravou nožů viz obrázek 4.1 a navíjecím zařízením s ovládacím panelem viz obrázek 4.2. Pro obsluhu linky je třeba jednoho zkušeného operátora a dva pomocné dělníky.



Obrázek 4.1 - Odvíjecí zařízení a souprava nožů

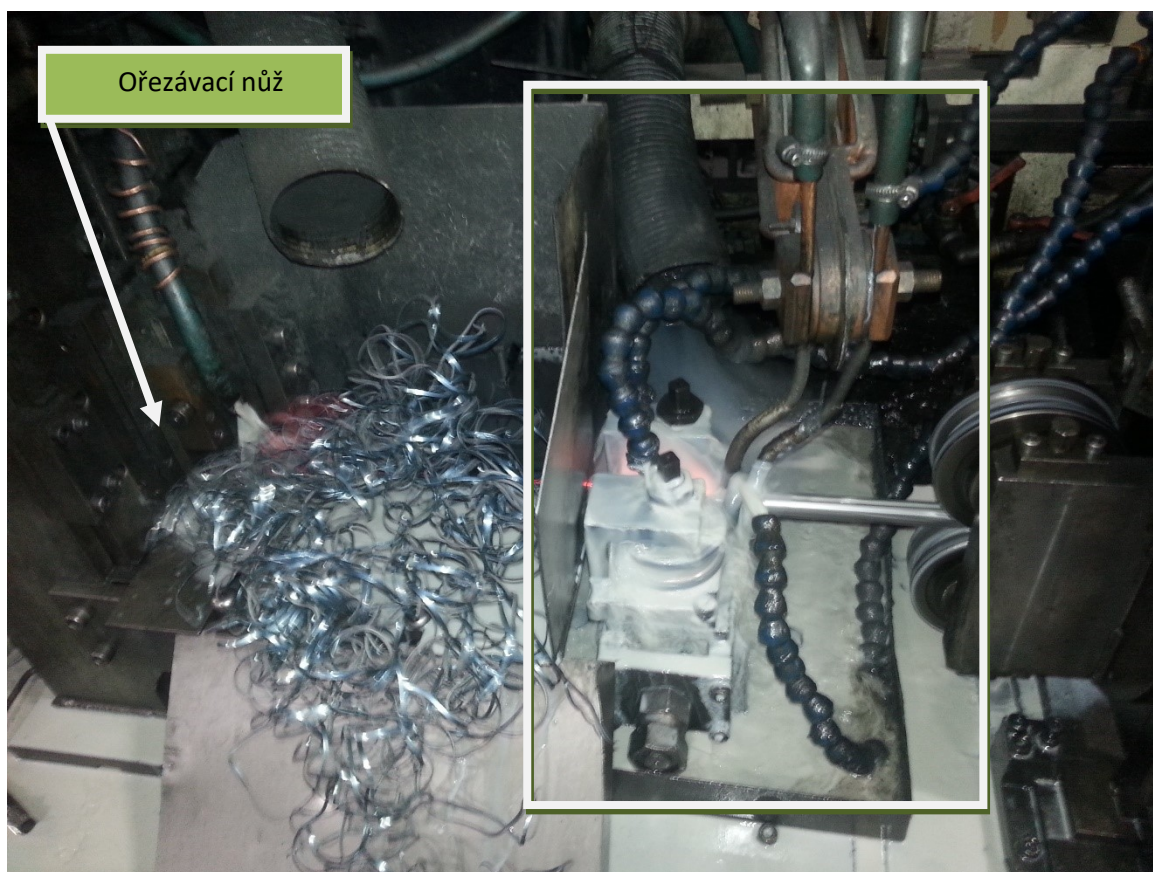
**Obrázek 4.2 - Odvíjecí zařízení a ovládací panel**

Dále se profil válcuje na válcovací lince od firmy SWAH. Linka obsahuje navíjecí zařízení na dělené svitky, válcovací část, svařovací agregát, chladicí lázeň, ovládací panel, kalibrační část, dělicí zařízení (stříhadlo) a vyhazovací stůl s ukládacím prostorem viz obrázky 4.3–4.9. Pro obsluhu linky je nezbytný jeden zkušený valcář a jeden pomocný dělník.

**Obrázek 4.3 - Navíjecí a odvíjecí zařízení**



Obrázek 4.4 - Válcovací část linky



Obrázek 4.5 - Svařovací agregát a ořezávací nůž na výronek



Obrázek 4.6 - Chladicí lázeň s ovládacím panelem válcovací linky



Obrázek 4.7 - Kalibrační část



Obrázek 4.8 - Stříhadlo



Obrázek 4.9 - Vyhazovací stůl s ukládacím prostorem

4.3 Vstupní materiál

Jako vstupní materiál byl vybrán materiál jakosti HC420LA 1,0x1105 mm dle ČSN EN 10268+A1 s rozměrovou specifikací dle ČSN EN 10131, který se dále podělí na dělence 1,0x90,2 mm. Po dodavateli byla požadována nespecifikovaná kontrola a druh dokumentu kontroly 3.1 dle ČSN EN 10204.¹⁹

Dodavatel zaručil toto chemické složení viz tabulka 4.3 a tyto mechanické vlastnosti viz tabulka 4.4:

Tabulka 4.3 Chemické složení (rozbor tavby) ¹⁹

Označení oceli		Chemické složení, hmotnostní %					
Značka oceli	Číselné označení oceli	C max. [%]	Si max. [%]	Mn max. [%]	P max. [%]	S max. [%]	Al celkový min. ^a [%]
HC 420 LA	1.0556	0,14	0,5	1,6	0,025	0,025	0,015
a – Tento požadavek neplatí za předpokladu, že ocel obsahuje dostatek jiných prvků, které vážou dusík jak Ti, Nb nebo V. Přísada Nb, Ti a V je dovolená a je na úvaze výrobce. Obsah těchto prvků musí být oznámen. Při použití titanu musí výrobce doložit, že $(Al+Ti/2) \geq 0,020$.							

Tabulka 4.4 Mechanické vlastnosti při pokojové teplotě ¹⁹

Označení oceli		Hodnoty pro dodací stav		
Značka oceli	Číselné označení oceli	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A ₈₀ Min. [%]
HC 420 LA	1.0556	460-580	390-500	18

4.4 Analýza jednotlivých vad v procesu výroby

Pro analýzu byla vybrána metoda FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). Je to metoda používána při náběhu nového produktu pro odstranění možných chyb při výrobě. Metoda pomáhá identifikovat nejkritičtější a nejpravděpodobnější chyby jak výrobku, tak i v procesu výroby. Chyby se dále ohodnotí dle rizika. Důležité je načasování analýzy, musí se provádět dostatečně brzy v cyklu vývoje výroby, aby se chyby eliminovaly hned na začátku a nepředstavovali zvýšené náklady v budoucnu.

Rozlišujeme několik druhů FMEA:

- Konstrukční – zkoumá všechny možné selhání systému a vychází z jeho funkce. Pracovní skupinu vede nejčastěji konstruktér, který daný výrobek kontroluje. Analýza se provádí na začátku projektu.
- Procesu – zkoumá všechny možné chyby v procesu výroby a jejich příčiny a určuje nápravná opatření na základě, kterých se vychází při tvorbě kontrolních postupů a výrobních instrukcí. Analýzu provádí odborný tým pod vedením jednoho odborníka. Odborný tým se nejčastěji skládá z technologa, technika kvality, vedoucího výroby, konstruktéra a operátora daného procesu.
- Výrobku – zkoumá konstrukci a výrobní proces výrobku jako celek. Nejčastěji ve formě nakupovaného dílu.
- Výrobního prostředku – optimalizuje výrobní prostředky a používá se jako součást TPM s cílem snížit poruchy na zařízení.¹⁷

4.4.1 FMEA procesu – postup

V bakalářské práci použijeme FMEU procesu.

Postup:

- a) Stanoví se vedoucí osoba.
- b) Vedoucí osoba musí zajistit co nejvíce informací o analyzovaném produktu/procesu (výkresová dokumentace, zákonné předpisy, dohody se zákazníkem/ dodavatelem).
- c) Vedoucí osoba určí dle zkušenosti další odborné osoby.
- d) Stanoví se hierarchické rozčlenění výroby na základnější prvky.
- e) Vypíší se vady, které se v daném procesu výroby mohou vyskytnout.
- f) Bodově se ohodnotí „význam“ neboli dopad vady na zákazníka nebo firmu či proces dle tabulky 5.
- g) Bodově se ohodnotí „výskyt“ to znamená s jakou pravděpodobností může daná vada vlivem dané příčiny nastat dle tabulky 6.
- h) Bodově se ohodnotí „odhalitelnost“ to znamená, jak účinné jsou používané postupy pro kontrolu procesu výroby dle tabulky 7.
- i) Vypočte se rizikové číslo (RPN) jako součin „výskytu“, „významu“ a „odhalitelnosti“.
- j) Výsledek bodu i) je porovnán s kritickým číslem, které bylo stanoveno na 125.

Tabulka 4.5 - Význam následku

Význam následku			
Následek	Dopad na zákazníka	Dopad na výrobu/montáž	Klasifikace
Nebezpečný bez varování	Velmi vysoké hodnocení významu, kdy vada výstrahy ohrožuje bezpečné používání výrobku a/nebo znamená nesplnění závazného předpisu.	Může bez výstrahy ohrozit pracovníka obsluhy (stroj nebo sestavu)	10
Nebezpečný s varováním	Velmi vysoké hodnocení významu, kdy vada s výstrahou ohrožuje bezpečné používání výrobku a/nebo znamená nesplnění závazného předpisu.	Může s výstrahou ohrozit pracovníka obsluhy (stroj nebo sestavu)	9
Velmi vysoký	Výrobek/prvek nefunkční se ztrátou hlavní funkce	100 % produktů se musí šrotovat nebo výrobek/prvek opravit v dílně za dobu delší než hodina.	8
Vysoký	Výrobek/prvek funkční, ale se sníženou výkonností. Zákazník velmi nespokojen.	Produkty se musí třídit a část (méně než 100%) šrotovat nebo se musí výrobek/prvek opravit v dílně za dobu od 0,5 do 1 hodiny.	7
Střední	Výrobek/prvek funkční, ale části zajišťující pohodlí nefungují. Zákazník nespokojen.	Část produktu (méně než 100%) se musí šrotovat bez třídění nebo se musí výrobek/prvek opravit v dílně za dobu kratší než 0,5 hodiny.	6
Nízký	Výrobek/prvek funkční, ale části zajišťující pohodlí fungují se sníženou výkonností. Zákazník poněkud nespokojen.	Musí se 100 % produktů přetřídit bez šrotování, část (méně než 100%) se musí přepracovat mimo linku, ale nemusí jít do opravárenské dílny.	5
Velmi nízký	Ozdobné prvky neodpovídají. Vadu zaznamená většina zákazníků (přes 75%).	Produkty se musí přetřídit a část (méně než 100 %) se musí přepracovat.	4
Málo významný	Ozdobné prvky neodpovídají. Vadu zaznamená 50 % zákazníků.	Část produktu (méně než 100%) se musí přepracovat (bez šrotování) na lince, ale mimo normální pozici.	3
Velmi málo významný	Ozdobné prvky neodpovídají. Vadu zaznamenají nároční zákazníci (méně než 25%).	Nebo se musí část (méně než 100%) produktů přepracovat (bez šrotování) na lince a na normální pozici.	2
Žádný	Žádný následek.	Žádný dopad.	1

Cílem je po přijetí opatření dosáhnout co nejmenší kritické číslo. U vad, které překračují kritické číslo, se následně vypracují účinná nápravná opatření ke snížení rizika a ohodnotí se opět dle postupu. Musí dojít ke snížení rizikového čísla pod kritickou hranici stanovenou na 125.

Tabulka 4.6 - Výskyt následku

Výskyt způsobu poruchy	Klasifikace	Četnost za měsíc	Pravděpodobnost
Velice vysoký	10	≥ 2000 z 10 000	$\geq 2 \times 10^{-1}$
	9	1500 z 10 000	$1,5 \times 10^{-1}$
Vysoký: opakující se poruchy	8	1000 z 10 000	1×10^{-1}
	7	750 z 10 000	$7,5 \times 10^{-2}$
Střední: občasné poruchy	6	500 z 10 000	5×10^{-2}
	5	300 z 10 000	3×10^{-2}
	4	150 z 10 000	$1,5 \times 10^{-2}$
Nízký: poměrně málo poruch	3	100 z 10 000	1×10^{-2}
	2	50 z 10 000	2×10^{-3}
Velice slabý: Porucha je nepravděpodobná	1	10 z 10 000	1×10^{-3}

Tabulka 4.7 - Odhalitelnost následku

Odhalení	Kritéria	Druh kontroly			Rozsah	Hodnocení
		A	B	C		
Téměř nemožné	Jistota, že vada nebude odhalena.			x	Nedá se odhalit nebo se nekontroluje.	10
Velmi nepravděpodobné	Nástroje kontroly vadu pravděpodobně neodhalí.			x	Kontrola se provádí jen nepřímo nebo namátkově.	9
Nepravděpodobné	Nástroje kontroly mají malou šanci vadu odhalit.			x	Kontrola se provádí jen vizuálně.	8
Velmi nízká pravděpodobnost	Nástroje kontroly mají malou šanci vadu odhalit.			x	Provádí se dvojnásobná vizuální kontrola.	7
Nízká pravděpodobnost	Nástroje kontroly mohou vadu odhalit.		x	x	Kontrola se provádí pomocí diagramů (např. SPC).	6
Průměrná pravděpodobnost	Nástroje kontroly mohou vadu odhalit.		x		Kontrola se opírá o měření nebo jinou 100 % kontrolu kalibrem, když součásti opustili pracoviště.	5
Mírně nadprůměrná pravděpodobnost	Nástroje kontroly mají dobrou šanci vadu odhalit.	x	x		Odhalování vad v následných operacích a kontrola kalibrem prováděná po seřízení a kontrola 1. kusu.	4
Vysoká pravděpodobnost	Nástroje kontroly mají dobrou šanci vadu odhalit.	x	x		Odhalení vad na pracovišti a na následných operacích. Přejímkami: při dodání, výběru, instalaci, ověřování. Nedají se převzít neshodné součásti.	3
Velmi vysoká pravděpodobnost	Nástroje kontroly téměř jistě vadu odhalí.	x	x		Odhalení vad na pracovišti (automatické měření s automatickým pozastavením.) Nemůže projít neshodné díly.	2
Téměř jistota	Nástroje kontroly téměř jistě vadu odhalí.	x			Neshodné součásti se nedají vyrobit, protože prvek byl proti vzniku vad zajištěn.	1
A = zajištěno proti chybám; B = kontrola kalibrem; C = Vizuální, ruční kontrola						

4.4.2 FMEA procesu

Pro provedení FMEA procesu byl vybrán tým skládající se z technologa, technika kvality, konstruktéra, mistra výroby a operátora, ti na základě svých dlouholetých zkušeností vybrali možné vady v procesu výroby viz tabulka 4.8.

Tabulka 4.8 - Možné vady v procesu výroby

Číslo	Díl	Výrobní oddělení	Místo vzniku vady ve výrobním procesu	Možná vada	Možné důsledky vady důsledek	Význam	Možné příčiny vady příčina	Výskyt	Stávající kontroly procesu inspekce	Odhalitelnost	Rizikové číslo
1	vstupní svitek	dělení svitku	příjem materiálu	nedodržená šířka	větší odpad při dělení	3	chyba dodavatele	2	vstupní kontrola, měření	3	18
2	vstupní svitek	dělení svitku	příjem materiálu	nedodržená tloušťka	nemožnost použití	8	chyba dodavatele	2	vstupní kontrola, měření	3	48
3	vstupní svitek	dělení svitku	příjem materiálu	stav povrchu	povrchové vady výrobku	5	chyba dodavatele	3	vstupní kontrola, měření	6	90
4	vstupní svitek	dělení svitku	příjem materiálu	nedodržená jakost	nemožnost použití	8	chyba dodavatele	2	vstupní kontrola, atesty 3.1. od dodavatele	8	128
5	nadělený svitek	dělení svitku	dělení	nedodržená šířka	nemožnost použití	8	seřízení nástroje	3	Procesní kontrola, měření	4	96
6	nadělený svitek	dělení svitku	dělení	nedodržená šířka	nemožnost použití	8	špatné zadání nastavení	2	Procesní kontrola, měření	4	64
7	nadělený svitek	dělení svitku	dělení	otřep na hraně	vyšší výronek svaru	2	špatně nastavená vůle nožů	3	Procesní kontrola, měření	4	24
8	nadělený svitek	dělení svitku	dělení	otřep na hraně	vyšší výronek svaru	2	tupé nože	4	Procesní kontrola, měření	4	32
9	profil	válcování	vstup	nesprávný svitek	poškození technologie	8	lidský faktor	2	vstupní kontrola, měření	4	64
10	profil	válcování	vstup	nesprávný svitek	poškození technologie	8	špatné/chybějící označení svitku	3	vstupní kontrola, měření	4	96
11	profil	válcování	vstup	nesprávný svitek	nedodržení parametrů-reklamace	8	lidský faktor	2	vstupní kontrola, měření	4	64

Číslo	Díl	Výrobní oddělení	Místo vzniku vady ve výrobním procesu	Možná vada	Možné důsledky vady důsledek	Význam	Možné příčiny vady příčina	Výskyt	Stávající kontroly procesu inspekce	Odhaditelnost	Rizikové číslo
12	profil	válcování	vstup	nesprávný svitek	nedodržení parametrů- reklamace	8	špatné/ chybějící označení svitku	3	vstupní kontrola, měření	4	96
13	profil	válcování	vstup	nesprávný svitek	nemožnost výrobení- zmetky	6	lidský faktor	2	vstupní kontrola, měření	4	48
14	profil	válcování	vstup	nesprávný svitek	nemožnost výrobení- zmetky	6	špatné/chybějící označení svitku	3	vstupní kontrola, měření	4	72
15	profil	válcování	vstup	vysoký svar po spojení jednotlivých dělenců	poškození nástrojů, nutnost znovu seřídít	6	lidský faktor- neprovedené broušení	2	vizuálně	8	96
16	profil	válcování	vstup	nedostatečný svar po spojení jednotlivých dělenců	utržení pásky, zmetky	5	nekvalitně svažené, podbroušené	2	vizuálně	8	80
17	profil	válcování	vstup	přesazená páska po spojení jednotlivých dělenců	poškození nástrojů, nutnost znovu seřídít	6	lidský faktor-špatné vystředěný pás	2	vizuálně	8	96
18	profil	válcování	značení výrobku	nesprávný údaj	nedodržení požadavek-reklamace, stížnost	7	lidský faktor, špatné nastavení	3	Procesní kontrola, vizuálně	4	84
19	profil	válcování	značení výrobku	nečitelnost	nedodržení požadavek-reklamace, stížnost	7	opotřebení razníků	2	Procesní kontrola, vizuálně	4	56
20	profil	válcování	značení výrobku	nečitelnost	nedodržení požadavek-reklamace, stížnost	7	špatné seřízení	4	Procesní kontrola, vizuálně	4	112

Číslo	Díl	Výrobní oddělení	Místo vzniku vady ve výrobním procesu	Možná vada	Možné důsledky vady důsledek	Význam	Možné příčiny vady příčina	Výskyt	Stávající kontroly procesu inspekce	Odhalitelnost	Rizikové číslo
21	profil	válcování	značení výrobku	nesprávné umístění	nedodržení požadavek-reklamace, stížnost	7	špatné seřízení	4	Procesní kontrola, vizuálně	4	112
22	profil	válcování	svařování	studený svar	nedodržená pevnost dílu	10	špatné nastavení svařovacích parametrů	2	Procesní kontrola, namátková rozháněcí zkouška, vizuálně	7	140
23	profil	válcování	svařování	neořezaný vnější výronek	nedodržené rozměry	8	špatné nastavení nože	2	Procesní kontrola, vizuálně	6	96
24	profil	válcování	svařování	neořezaný vnější výronek	nedodržené rozměry	8	poškození nástroje	2	Procesní kontrola, vizuálně	6	96
25	profil	válcování	tváření	škrábance, otlaky	vizuální vady	4	špatné seřízení válců	2	Procesní kontrola, vizuálně	6	48
26	profil	válcování	tváření	škrábance, otlaky	vizuální vady	4	opotřebení válců	3	Procesní kontrola, vizuálně	6	72
27	profil	válcování	tváření	nedodržení rozměru základny ($\pm 0,12$)	nefunkční, reklamace	8	špatné seřízení linky	3	Procesní kontrola, měření	6	144
28	profil	válcování	tváření	nedodržení rozměru základny ($\pm 0,12$)	nefunkční, reklamace	8	opotřebení nástroje	2	Procesní kontrola, měření	6	96
29	profil	válcování	tváření	nedodrženy rozměr: výška profilu ($\pm 0,2$ podle profilu), rádius, kolmost, přímost, zkroucení, násobná délka	snížená funkčnost, seřizování linky u zákazníka	6	špatné seřízení linky	3	Procesní kontrola, měření	6	108

Číslo	Díl	Výrobní oddělení	Místo vzniku vady ve výrobním procesu	Možná vada	Možné důsledky vady důsledek	Význam	Možné příčiny vady příčina	Výskyt	Stávající kontroly procesu inspekce	Odhalitelnost	Rizikové číslo
30	profil	válcování	tváření	nedodrženy rozměr: výška profilu ($\pm 0,2$ podle profilu), rádius, kolmost, přímost, zkroucení, násobná délka	snížená funkčnost, seřizování linky u zákazníka	6	odchylky mechanických vlastností vstupní materiálu (v rámci toleranci jakosti)	3	Procesní kontrola, měření	6	108
31	profil	válcování	tváření	nedodrženy rozměr: výška profilu ($\pm 0,2$ podle profilu), rádius, kolmost, přímost, zkroucení, násobná délka	snížená funkčnost, seřizování linky u zákazníka	6	opotřebení stroje	3	Procesní kontrola, měření	6	108

Jako možné vady s velkým rizikovým číslem byly vybrány celkem čtyři (Tabulka 4.8):

- 4) Nedodržení jakosti vstupního materiálu
- 22) Studený svar na profilu
- 27) Nedodržení rozměrů základny

Na všechny tyto rizikové vady musí být přijaté funkční opatření, které zamezí výskytu těchto vad. Následně se FMEA na tyto vady zopakuje již s přijatým opatřením a rizikové číslo musí být pod nastavenou hranici.

4.4.3 Nedodržení jakosti vstupního materiálu

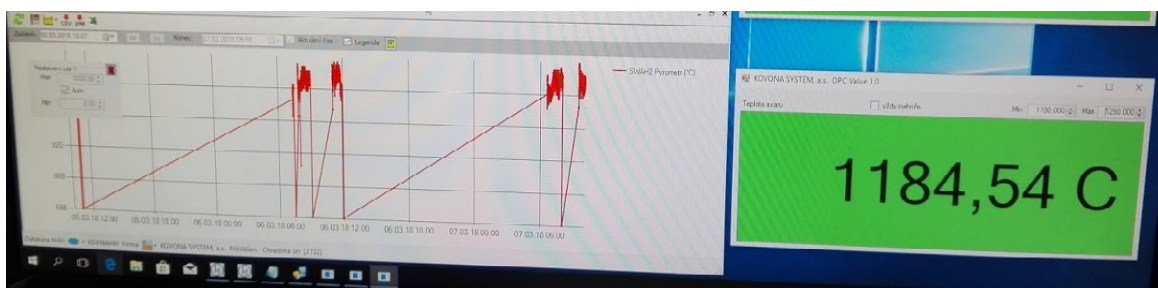
I když na veškerý vstupní materiál bude vystaven dodavatelem atest 3.1 dle ČSN EN 10204, nemáme 100% jistotu, že dodavatel jakosti materiálu nezaměnil nebo provedené zkoušky na materiálu špatně nevyhodnotí. Svitky dodávané od dodavatele nebude naděleny na dělence nýbrž bude dodáván v celku jakožto mateřský svitek, ten se následně podělí na menší svitky s rozvinem odpovídajícím rozvinu na vyválnování profilu. Tyto dělence představují riziko v materiálové specifikaci a to tím, že každý dělenec může mít jiné chemické a mechanické vlastnosti. Pro větší jistotu a prověření atestu dodavatele se po podělení mateřského svitku vyhotoví trhací tělesa z každého dělence, na kterých se následně provede trhací zkouška dle ČSN EN ISO 6892-1.

4.4.4 Studený svar na profilu

Asi nejnebezpečnější vada v procesu výroby uzavřených indukčně svařovaných profilů je studený svar. Mezi hlavní příčiny studeného svaru jsou nevhodné parametry svařování a vysoká postupová rychlost. Studený svar nelze odhalit pouhým okem, proudovými nedestructivními testy, ultrazvukovým signálem a ani elektromagnetickou kontrolou. Svar je totiž dostatečně přivařený pro přenos jakéhokoli signálu, ale není dostatečně pevný, aby odolal nárazovým nebo žárovým zkouškám. Studený svar je velmi plochý a křehký, má velmi malé břídlíce a vláknitou strukturu běžnou pro plný tavený svar. Na metalografickém příčném řezu vykazuje velmi úzkou tepelně ovlivněnou oblast, která je pro studený svar charakteristická.

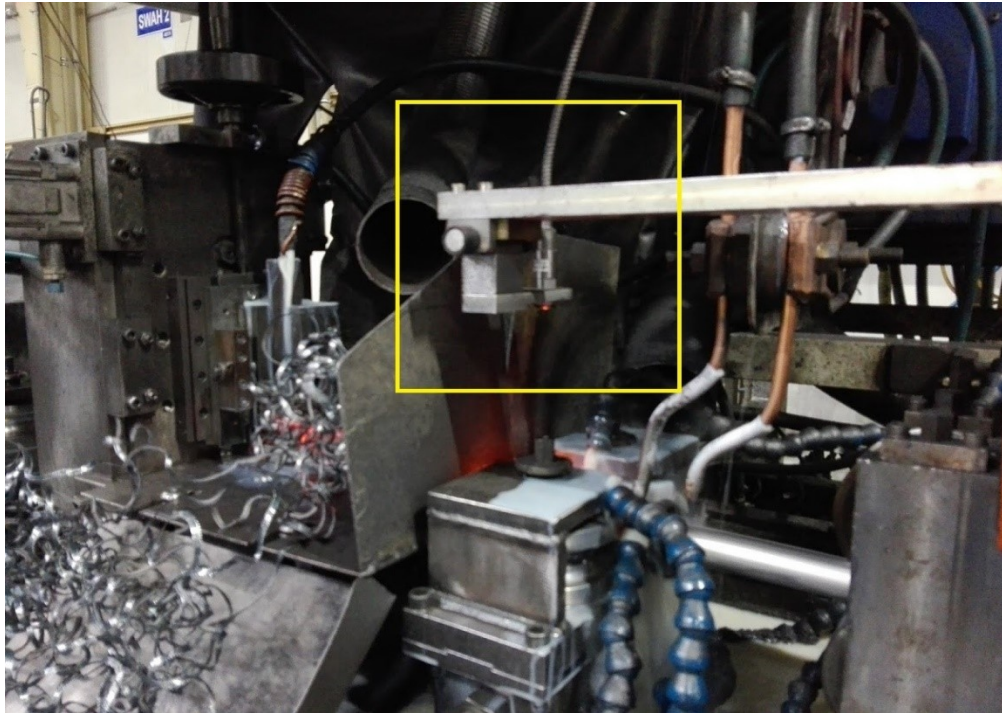
Pro kontrolu studeného svaru se využívá destruktivní zkoušení profilů smáčknutím dle ČSN EN ISO 8492 a rozšiřováním dle ČSN EN ISO 8493, tyto zkoušky nám s jistotou řeknou, zda profil byl svařený dobře nebo obsahuje studený svar. Namátkové destruktivní zkoušky však v hromadné sériové výrobě při vysoké rychlosti válcování jsou nedostačující a fungují spíše jako záchranná brzda.

Studený svar vzniká hlavně u poklesu svařovací teploty, a to nejčastěji v důsledku různých mechanických, a hlavně chemických vlastností materiálu dělenců. Proto pro kontrolu správné teploty svařování byl na linku aplikován pyrometr. Ten při poklesu teploty svařování upozorní operátora, který následně upraví svařovací parametry tak, aby se dostal nad minimální povolenou teplotu svařování viz obrázek 4.10, kde vidíme graf teplot za celou dobu válcování a aktuální teplotu.



Obrázek 4.10 – Fotografie zobrazeného grafu svařovacích teplot a aktuální teplota

Pro měření teploty svařování byl vybrán pyrometr CTratioM1 s laserovým zaměřováním kontrolovaného místa od firmy Micro-epsilon. Pyrometr měří teplotu v rozsahu od 700 °C do 1800 °C, odezva je 5ms, je odolný vůči páře a plynům, které se při svařování vylučují. Pyrometr je uchycen na speciálním držáku, směřuje přímo na ohnisko svařování viz obrázek 4.11.



Obrázek 4.11 - Ustavení pyrometru

Teplota svařování by měla být udržována nastavením parametrů svářečky tak, aby byla v rozsahu od 1110 až 1250°C. Při daném teplotním rozsahu se pomocí rozšiřovacích zkoušek dle ČSN EN ISO 8493 a zkoušek zmáčknutím dle ČSN EN ISO 8492 trubek a profilů zjistilo, že svary jsou dostatečně pevné a tento interval je optimální pro nastavení svařovacího procesu.

Teplota svařování se koriguje nastavením proudu a napětí generátoru na ovládacím panelu linky tak, aby se výsledná teplota pohybovala v doporučeném rozsahu viz obrázek 4.12.



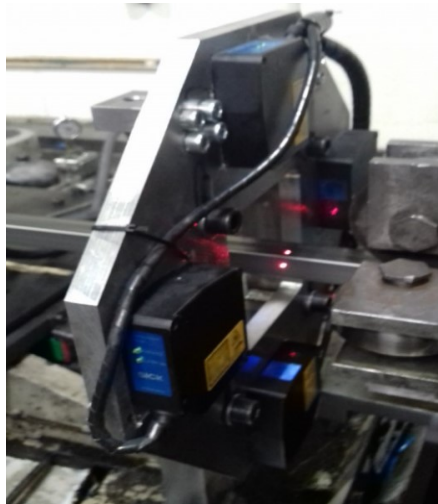
Obrázek 4.12 - Nastavení parametrů svařování

4.4.5 Nedodržení rozměr základny profilu

Zákazník klade důraz na dodržení tolerančního pole u základny profilu, které činí $\pm 0,12$ mm. Toto toleranční pole bude hůře vyrobitelné a rozměry po najetí nového dělence se mohou lišit a tím je riziko překročení tolerancí moc vysoké. Pro zamezení výskytu profilu mimo toleranci se na linku kromě namátkového měření talířovým mikrometrem zavedlo i online měření pomocí laserového paprsku.

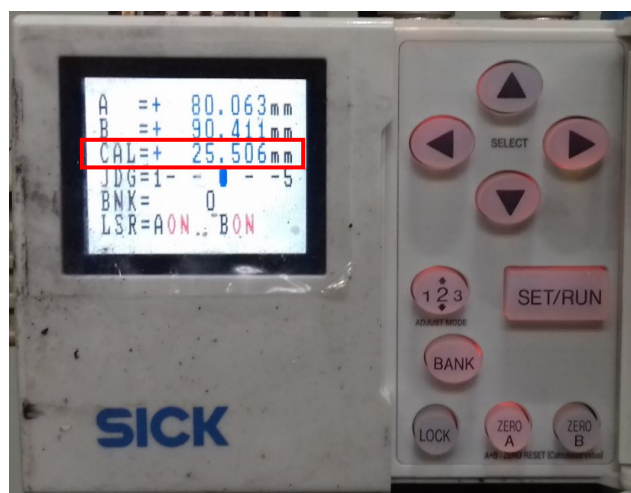
Bylo použito laserové měřicí zařízení OD Max OD58-20T1 od firmy Sick. Rozlišení měřicího zařízení je 5 μm , doba odezvy 5 ms, frekvence měření 10kHz, třída laseru 2 dle ČSN EN 60825-1.

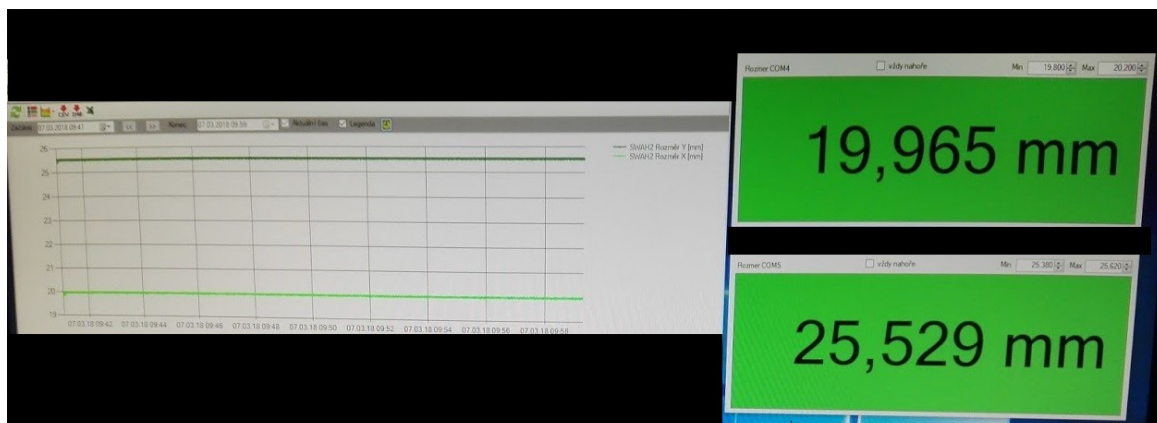
Pro měření jednoho rozměru je zapotřebí vždy dva snímače, tudíž pro náš profil použijeme čtyři laserové snímače pro výšku i šířku profilu viz obrázek 4.13. Na spodní laserový snímač byla nainstalovaná vzduchová tryska pro očištění emulze a mastnoty odkapávajících z profilu.

**Obrázek 4.13 - Laserové snímače**

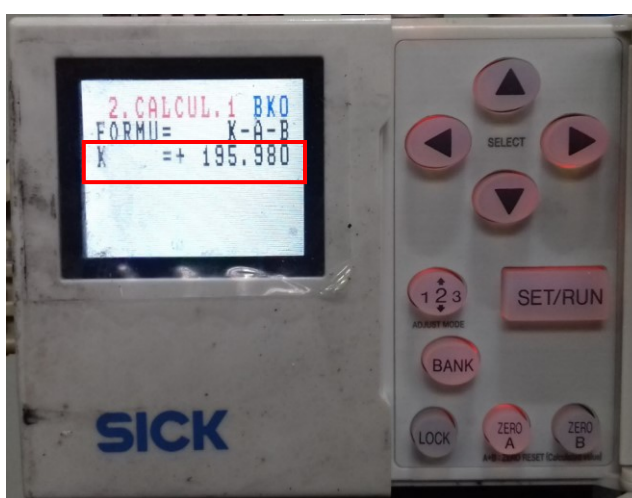
Na začátku směny je nutné měřidlo zkalibrovat. Tzn. Postupně změřit výšku a šířku profilu co nejbližší k měřenému bodu a porovnat s údajem „CAL“ na displeji měřidla viz obrázek 4.14. O rozdíl těchto hodnot upravíme konstantu „K“ na obrazovce viz obrázek 4.16. Pokud jsou hodnoty v toleranci, svítí tabulka na monitoru počítače zeleně viz obrázek 4.15, pokud jsou rozměry mimo toleranci, svítí tabulka červeně a měřící zařízení taky signalizuje červeným světlem hodnoty mimo toleranci viz obrázek 4.17.

Pokud monitor a měřící zařízení signalizuje tolerance mimo specifikaci je nutno okamžitě zastavit linku, zkontrolovat rozměry profilu a měřící zařízení, popřípadě provést seřízení válcovací linky.

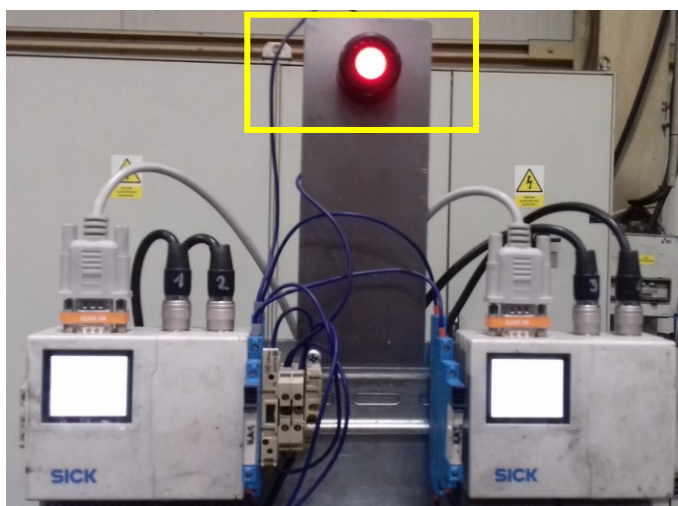
**Obrázek 4.14 - Displej pro odečet hodnoty pro kalibraci**



Obrázek 4.15 – Fotografie grafu naměřených hodnot a tabulky aktuálních hodnot



Obrázek 4.16 - Displej pro zadání konstanty



Obrázek 4.17 - Signál, profil mimo tolerance

4.4.6 FMEA procesu na přijaté opatření

Na přijaté opatření pro vady s velkým rizikovým číslem vypracujeme FMEA znovu. Přijaté opatření musí vyjít s rizikovým číslem pod stanovenou mez 125.

Tabulka 4.9 - Neshoda 4 z tabulky 4.8 - nedodržení jakost vstupního materiálu

Doporučená opatření	Odpovědný	Termín	Provedená opatření	Význam	Výskyt	Odhalitelnost	Rizikové číslo
Výstupní trhací zkoušky dělenců z dělicí linky.	-	-	-	8	2	7	112

Tabulka 4.10 - Neshoda 22 z tabulky 4.8 - studený svar na profilu

Doporučená opatření	Odpovědný	Termín	Provedená opatření	Význam	Výskyt	Odhalitelnost	Rizikové číslo
Kontrola teploty svaru pyrometrem.	-	-	-	10	2	5	100

Tabulka 4.11 - Neshoda 27 z tabulky 4.8 - nedodržení rozměr základny

Doporučená opatření	Odpovědný	Termín	Provedená opatření	Význam	Výskyt	Odhalitelnost	Rizikové číslo
Online měření pomocí laserových senzorů.	-	-	-	8	3	2	48

4.5 Technologické postupy

Pro výrobu profilu byly vypracovány technologické postupy pro dělicí linku dle tabulky 4.12 a válcování dle tabulky 4.13

Tabulka 4.12 - Technologický postup dělení svitku

Číslo postupu	Operace	Popis operace	Použité měřidlo	Četnost kontroly	Zodpovědný
1.	Kontrola	Kontrola příchozího mateřského svitku dle dodacího listu a normy ČSN EN 10131. Chemické a mechanické složení v atestu dle ČSN EN 10268+A1.	Posuvné měřítko, Mikrometr	Každý svitek.	Vstupní sklad
2.	Nastavení dělicích nožů	Nastavení dělicích nožů dle upínacího plánu.	-	-	Výroba
3.	Nasazení svitku	Nasazení mateřského svitku na odvíjecí zařízení dělicí linky.	-	-	Sklad
4.	Dělení	Dělení svitku na dělence o šířce $90,2 \pm 0,2 \text{ mm}$.	Posuvné měřítko		Výroba
5.	Kontrola	Kontrola nadělených svitku: Šířka: $90,2 \pm 0,2 \text{ mm}$ Tloušťka: $1,0 \pm 0,09 \text{ mm}$ Kvalita povrchu pásu: Bez vrypů, příčných a podélných zlomů a koroze.	Posuvné měřítko, Mikrometr	Každý nadělený svitek na začátku, uprostřed a na konci svitku.	Výroba

Číslo postupu	Operace	Popis operace	Použité měřidlo	Četnost kontroly	Zodpovědný
6.	Kontrola	Odebrání vzorků plechu na trhací zkoušky.	-	Dva vzorky z krajních svitku a jeden uprostřed.	Výroba
7.	Páskování	Zapáskování jednotlivých nadělených svitků, a to jedná páska přes celý průměr svitku a tři pásy po obvodu svitku.	-	-	Výroba
8.	Uskladnění	Pracovník skladu svitky označí a uloží do prostoru pro skladování.	-	-	Sklad
9.	Trhací zkoušky	Vyhotovení trhacího tělesa je dle ČSN EN ISO 6892-1, metoda B za použití zkušebního tělesa číslo 2 šířka 20 mm.	Pásová pila, Frézka	-	Nástrojárna
10.	Trhací zkoušky	Trhací zkouška na tři zkušební tělesa dle ČSN EN ISO 6892-1, počáteční měřená délka $L_0 = 80 \text{ mm}$. Vyhodnocení mechanických vlastností dle ČSN EN 10268+A1.	Zařízení pro trhací zkoušky, Posuvné měřítko, ocelové pravítko, ryhovací tužka	-	Kontrolní oddělení

Tabulka 4.13 - Technologický postup válcování profilu

Číslo postupu	Operace	Popis operace	Použité měřidlo	Četnost kontroly	Zodpovědný
1.	Kontrola	Kontrola, zda se jedná o správný rozměr svitku: Šířka: $90,2 \pm 0,2 \text{ mm}$ Tloušťka: $1,0 \pm 0,09 \text{ mm}$ Kvalita povrchu pásu: Bez vrypů, příčných a podélných zlomů a koroze.	Posuvné měřítko, Mikrometr	Každý svitek na začátku navíjení.	Výroba
2.	Navíjení svitku	Nadělené svitky se postupně navíjejí a spojí svarem na odvíjecí kolo pro válcování.	-	-	Výroba
3.	Nastavení válců	Nastavení válců válcovací části dle upínacího plánu. Vložení datumového razníku do válce dle aktuálního výrobního týdne a zformování pásky do téměř úplné trubky o průměru 24,9 mm.	-	-	Výroba
4.	Nastavení válců	Nastavení válcovacích rolek pro svařování tak aby páska procházející přes válce svírala úhel štěrbin 2°-6°.	-	-	Výroba
5.	Ferit	Nastavení a umístění feritu o průměru 24 mm. Ferit musí být umístěný mezi svařovacími válci, 4 mm za jejich osou a musí být chlazený.	-	-	Výroba
6.	Ořezávací nůž	Nastavit ořezávací nůž na výronek tak aby nepoškodil profil	-	-	Výroba
7.	Nastavení kalibrace	Nastavení kalibrační části dle upínacího plánu.	-	-	Výroba
8.	Střihadlo	Nastavení a seřízení střihadla na dělení profilu na délku $6120^{+30}_{-0} \text{ mm}$.	Stáčecí metr	-	Výroba

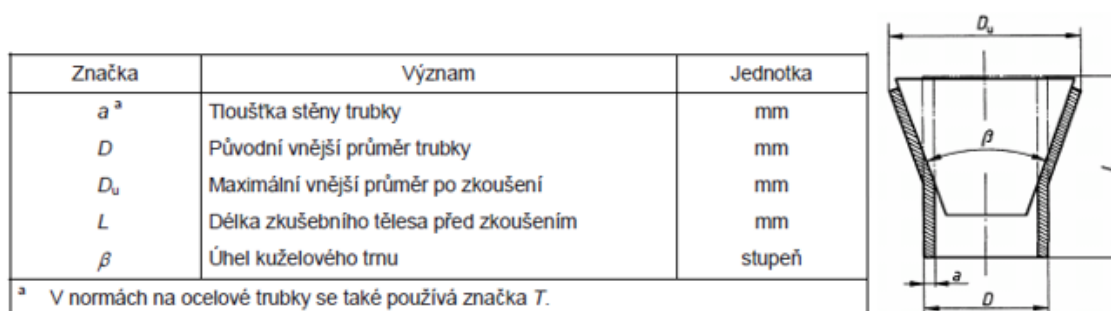
Číslo postupu	Operace	Popis operace	Použité měřidlo	Četnost kontroly	Zodpovědný
9.	Válcování	Najetí pásky do válcovací linky, nastavení průchodu pásky přes svařovací válce a nastavení svařovacích parametrů na požadovanou teplotu 1110-1250°C.	Pyrometr	Online	Výroba
10.	Kontrola	Měření profilu: Šířka – $25,5 \pm 0,12 \text{ mm}$ Výška - $20 \pm 0,2 \text{ mm}$ Délka - $6120_{-0}^{+30} \text{ mm}$ Poloha svaru - $12 \pm 3 \text{ mm}$	Mikrometr s talířovými doteky, Stáčecí metr	Při rozjezdu, po příčném svaru a co 200 ks.	Výroba
11.	Kontrola	Přímost profilu – max. 2,5 mm/m Zkroucení profilu max. 0,2 mm/m	Ocelové pravítko + spárové měrky	Co 200 Ks	Výroba
12.	Kontrola	Kolmost stran – $90^\circ \pm 1^\circ$	Optický úhloměr	Při rozjezdu, po svaru a co 200 ks.	Výroba
13.	Kontrola	Vnější rádius – max. 1,75 mm	Rádiusové měrky	Při rozjezdu, po svaru a co 200 ks.	Výroba
14.	Kontrola	Zkoušení trubky smáčknutím a rozšiřováním viz postup.	Hydraulický lis, posuvné měřítko	Co 200 ks	Výroba
15.	Kontrola	Stav svaru – hladký bez trhlin a otřepů Stav profilu – bez otlaků a škrábanců Značení na profilu – aktuální rok/týden	Vizuálně	Co 200 ks	Výroba
16.	Kontrola	Kontrola válcovací emulze	Ruční refraktometr	1x za den	Výroba
17.	Kontrola	Trhací zkoušky dle ČSN EN 10305-5 z celého průřezu profilu $L_0 = 80 \text{ mm}$.	Zařízení pro trhací zkoušky, Posuvné měřítko, ocelové pravítko, ryhovací tužka	Každou tavbu	Kontrolní oddělení

4.5.1 Zkouška rozšiřováním

Zkouška je dle normy ČSN EN ISO 8493.

Zkouška se provádí nalisováním profilu na zkušební trn s vrcholovým úhlem 60° dokud průměr zkoušené trubky nedosáhne předepsané hodnoty. Pro provedení zkoušky je třeba hydraulický lis, kuželový trn s vrcholovým úhlem 60° a posuvné měřítko.

Zkouška se provádí při teplotě $10\text{--}35^\circ\text{C}$. Pro zkoušku byl použit vzorek profilu dle vzorce 4.1. Kuželový trn se bez rázů plynule zatlačuje do zkušebního tělesa, dokud se nedosáhne požadovaného průměru dle vzorce 4.2. Pro dosažení požadovaného průměru operátor provádějící kontrolu průběžně měří hodnotu D_u posuvným měřítkem. Hodnota D_u je rozšíření trubky nebo u profilu svařené trubky o 22 % jejího vnějšího průměru. Osa kuželového trnu musí být totožná s osou trubky. Oba konce zkušebního vzorku musí ležet v rovině kolmé k ose trubky. Na vzorku se po řezu začistí hrany a následně se ustaví na zkušební trn.²¹



Obrázek 4.18 - Popis vzorku pro zkoušku rozšiřováním²¹

Pro profil $25,5 \times 20/1$ mm je použit vzorek o délce $L = 58,8$ [mm] a průměru rozšíření $D_u = 35,9$ [mm]

$$L = 2 \cdot D \quad (4.1)$$

$$D_u = 1,22 \cdot D \quad (4.2)$$

Vyhodnocení zkoušky:

Na zkušebním tělese nesmí být pouhým okem viditelné trhliny ve svaru. Popraskání hran není důvodem pro nevyhovění zkoušky viz obrázek 4.19 a 4.20.²¹



Obrázek 4.19 - Trubka před zkouškou OK

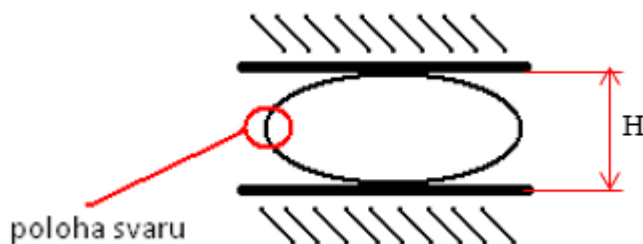


Obrázek 4.20 - Trubka po zkoušce OK

4.5.2 Zkouška smáčknutím

Zkouška je dle normy ČSN EN ISO 8492.

Zkouška se provádí slisováním profilu hydraulickým lisem za předpokladu, že tloušťka stěny t je menší než 15 % vnějšího průměru trubky. Pro uskutečnění zkoušky je třeba hydraulický lis a posuvné měřítko. Zkouška se provádí při teplotě v rozmezí 10–35 °C. Délka zkušebního tělesa dle vzorce 4.3 průměru svařovací rolny. Hrany zkušebního tělesa musí být ožehlené. Zkušební těleso se vloží mezi desky svěráku. Zajistí se poloha svaru 90° ke směru mačkaní viz obr.31. Vzorek se mačká do té doby, než vzdálenost H mezi deskami dosáhne minimálně výšky vypočítané dle vzorce 4.4 kde t je tloušťka stěny trubky, D je vnější průměr trubky a c je konstanta, která se určuje dle jakosti oceli.²⁰



Obrázek 4.21 - Popis vzorku pro zkoušku smáčknutím²⁰

$$L = \pi \cdot d \quad (4.3)$$

Kde d je funkční průměr svařovací rolny a π je konstanta

$$H = \frac{(1 + c) \cdot t}{c + \frac{t}{D}} \quad (4.4)$$

Pro profil 25,5x20/1 mm se použije vzorek o délce $L = 214 \text{ [mm]}$ a minimální výšce mezi deskami po smáčknutí $H = 10,3 \text{ mm}$, kde konstanta $c = 0,07$.

Vyhodnocení zkoušky:

Po zkoušení nesmí zkušební těleso mít trhliny nebo praskliny v místě svaru. Trhliny mimo svar jsou dovoleny.²⁰

5 Závěr

Technické a ekonomické hodnocení návrhu:

Analýza vad v procesu metodou FMEA, pokud je dobře načasovaná a udělaná správně, přináší hodně výhod, a to jak technických, tak v konečném důsledku i ekonomických. Metodou se přijde na vady, které by se mohly vyskytnout až v samotném rozjezdu projektu, kde náklady na úpravy a prostoje linky jsou nákladnější než při zabezpečení problému hned na začátku.

Aplikace pyrometru na válcovací lince jasně definovala, v jakém rozmezí teplot se svařuje kvalitní svar a tímto zmenšila technický odpad při najíždění, kde operátor nenastavuje svařování dle zkušeností a vizuální kontroly svařování, ale dle teploty, jaká se v místě svařování nachází. Dále pyrometr zmenšil množství odpadu při přechodu z jednoho svitku na druhý, kdy se válcovací linka nezastavuje a díky různým chemickým vlastnostem materiálu se musí upravit parametry svařování, nyní dle teploty. Měření teploty svařování taky zabezpečila výskyt studených svarů na profilu, což má negativní dopad na další zpracování a na kvalitu výrobku u zákazníka.

Online měření rozměru profilu zabezpečilo kvalitu výrobku dodávaného zákazníkovi, který pro jeho následné zpracování kladl velký důraz na dodržení tolerančního pole. Dále snížil množství zmetku tím, že operátor zná hodnoty profilu dřív, než profil je schopný změřit na výstupu linky a profil je tak schopný seřídít za menší počet zmetků.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval prof. Ing. Jiřímu Hrubému, CSc., za cenné a odborné rady, kterými mi přispěl k vypracování této bakalářské práce. Dále chci poděkovat firmě Kovona System a.s. za možnost pracovat na této bakalářské práci v jejich prostorách a na jejich strojích.

Seznam použité literatury

1. LENFELD, Petr. Technologie objemového tváření - tažení drátů a profilů. *Technologie II* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/04.htm
2. Zacha. [online]. 2009 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.zacha.cz/vice-o-vyrobetrubek>
3. World Trade Fair for Used Technology [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: http://www.machinestock.com/usetec/en/aussteller_details.php?id=7972
4. POČTA, Bohumil. *Ocelové trubky*. I. díl, Bezešvé trubky. 2., přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.
5. LENFELD, Petr. Technologie objemového tváření - tažení drátů a profilů. *Technologie II* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/04.htm
6. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
7. *VÝROBA A DĚLENÍ TRUBEK*. Brno, 2012. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. EVA ŠMEHLÍKOVÁ, Ph.D.
8. Rozdíly mezi bezešvou a svařovanou trubkou. *Dama* [online]. Praha: iDama [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://www.idama.cz/magazin/rozdily-mezi-bezesvou-a-svarovanou-trubkou-detail-45394>
9. POČTA, Bohumil. *Ocelové trubky: Svařované trubky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964, 225 s.
10. Výroba trubek. *Strojírenství* [online]. Studentské.cz. Dostupné z: <http://strojirenstvi.studentske.cz/2008/10/vroba-trubek.html>
11. Elektrické odporové svařování. *ELUC* [online]. Olomouc: ELUC [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1808>
12. Svařování pod tavidlem (SAW). *Svarbazar* [online]. 2010 . Dostupné z: <http://svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2009010801>
13. ROUBÍČEK, Martin. Laserové svařování - ekonomika a kvalita. *Konstrukce* [online]. Ostrava: KONSTRUKCE, 2006 [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/laserove-svarovani-ekonomika-a-kvalita/>

14. Svařování laserem. *Nerezové trubky* [online]. Buchlovice: Favex [cit. 2017-11-27].
Dostupné z: <http://www.trubkynerez.cz/trubky-nerezove-svarovane/svarovani-laserem/>
15. Učíme v prostoru: strojírenství. In: *Slideplayer* [online]. [cit. 2017-11-28].
Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3412290/>
16. ŽÁČEK, Jaroslav. Výroba. In: *OCELÁŘSKÁ UNIE* [online]. Ocelářská unie a.s., Ostrava: Ocelářská unie a.s., Ostrava, 2014 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <<http://www.ocelarskaunie.cz/vyroba0>>
17. FMEA Analýza příčin a důsledků. *Svět produktivity* [online]. Prostějov: Svět produktivity [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://www.svetproduktivity.cz/slovník/FMEA-Analyza-pricin-a-dusledku.htm>
18. ČSN EN 10305-5 *Ocelové trubky pro přesné použití - Technické dodací podmínky – Část 5: Svařované čtvercové a obdélníkové trubky kalibrované za studena*. E. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2016.
19. ČSN EN 10131 *Ploché výrobky z ocelí s vyšší mezí kluzu válcované za studena k tváření za studena - Technické dodací podmínky*. A1. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2014.
20. ČSN EN ISO 8492 *Kovové materiály - Trubky - Zkouška smáčknutím*. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2014.
21. ČSN EN ISO 8493 *Kovové materiály - Trubky - Zkouška rozšiřováním*. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2005.

Seznam příloh

Příloha A: Technická dokumentace profilu 25,5 x 20/1 mm.

Příloha A

